

刊行にあたって

1978年9月4日から同月25日まで、中国科学院の招待により、力武常次東京工業大学教授を団長とする地震予知調査団が中国を訪れた。この調査団に、当センターからは第2研究部長高橋博が参加した。

海外の地震予知事業の状況を広く紹介することは、わが国の地震予知研究を発展させる上に有益かつ重要であるというかねてよりの見地から、今回、その視察・調査によって得た知見を一つにまとめ、ここに報告することとした。執筆は、それぞれ専門的事項ごとに分担し、地域ごとにまとめた。

編集に際し、表記に関しては次の原則によった。

1. 固有名詞および中国語で発表されている文献（参考文献）は、中国語の表記とした。
2. 固有名詞+普通名詞 普通名詞は日本語で表記できるが、固有名詞と一つになっているものは、中国語の表記とした。
(例) 虎牙断層 → 虎牙断层
3. 中国で用語化しているものについては、中国語の表記とした。
(例) 宏觀現象 → 宏观现象
4. 日本語として述べているものは、日本語の表記とした。
5. 以上の原則に従って、中国語では中国の簡体字の表記とした。しかし、その表記法に習熟していないこともあって、100パーセント整理されているとはいえないかもしれない。また、日本人にわかりやすくするため、日本語の表現をはじめに記されている所で（）で記した。
(例) 沈阳（瀋陽）

本報告書の構成の大綱は力武常次団長が決め、原稿の収集整理は萩原幸男教授（東大地震研究所）が行ない、編集は高橋博、渡辺一郎（当センター編集委員長、第4研究部長）、片桐一美（企画課資料調査室）があたった。

1979年11月

編集者

まえがき

日本はこれまでに3度に及ぶ地震予知ミッションを中国に送りこんだ。第1次、第2次はともに地震学者を中心に調査団が編成され、おもに中国における地震学の現状を視察した。

第3次は静岡県が送った調査団で、これは地震予知体制が目的であった。そして最後に、中国の地震予知戦略を研究する目的で、われわれ調査団が編成されたのである。団員一人ひとり専門分野が異なり、学問的興味の対象も多少の差異はあったが、とにかく、中国の地震予知の成功は真実なのかこの目で確かめたいという気持で共通していたと思う。

海城地震、松潘・平武地震の現場を訪れ、先行現象の証拠がどのように予報に活かされたかを聞き出した。時には招待された客人であることも忘れて、激しく質問し、食いさがり、追究した。今から考えると、辽宁省や四川省の純朴な人達は、この一見不作法ともとれる態度に困惑したかも知れない。だがそれは真実を知ろうとする科学者の態度であり熱意からであった。もちろん、わずか3週間の見聞から、疑問点のすべてが解決されたわけではないが、われわれは実感として、中国の地震予知の成功が真実であったことを知ったのである。

今回の訪問の成果として、多くの中国の科学者と親しく接し、専群結合のもとに得られた多くの先行現象データを持ち帰ることができた。これらの貴重なデータを書き留め、さらに広く地震予知にたずさわる人びとに紹介したいと思う。これによって、わが国の地震予知研究の発展にいささかなりと寄与することができれば幸いである。

1978年訪中地震予知調査団長

東京工業大学教授 力 武 常 次

目 次

1. はしがき	力 武 常 次	1	
1.1 経過		1	
1.2 団構成		1	
1.3 活動概況		1	
a) 行動概要	b) 視察見学場所		
c) 中国側講演	d) 日本側講演		
1.4 所感		3	
a) 热烈歓迎	b) 地震台	c) 大众观測	
d) 地震予報	e) 問題点	f) 今後の交流	
1.5 謝辞		5	
2. 中国における地震予知・震災予防に関する組織について	高木 章雄	7	
2.1 二本の足で道を歩む		7	
2.2 中国における地震予知事業の組織		7	
a) 国家地震局	b) 国家地震局地球物理研究所		
c) 省地震局・地震大队(隊)	d) 地震基准(準)台・地震台・地震站		
e) 地震弁公室	f) 大众观测(大衆観測)		
(図) 2.2.1 中国における地震予知事業の組織図		7	
2.3 おわりに		12	
3. 北京周辺の地震予知活動		13	
3.1 総論	高橋 博	13	
a) 地震予知関係機関	b) 唐山地震の前兆の概要		
(図) 3.1.1 华北地区強震分布図		15	
3.1.2 北京周辺テレメータ観測点配置図		13	
3.1.3 大灰厂地形变站		17	
a. 位置図	b. 観測装置配置略図	c. 地殻変動図	
3.2 地震	高橋 博	22	
a) 华北地区の地震活動	b) 地震活動と温泉分布		
c) 唐山地震	d) 地震活動空白域	e) b値の異常変化	
f) b値の时空扫描(スキャニング)	g) 前兆震群		
h) 唐山地震前後の应力変化			
(表) 3.2.1 b値の変化を調査した地震		37	
3.2.2 四大地震のb値変化の基本特性		42	

3.2.3	<i>To</i> 区における 1966 年 4 月～1967 年	
	7 月の月平均地震発生状況	48
3.2.4	1966 年～1976 年の华北における $M > 6$	
	の地震と前兆震群の関係	57
3.2.5	华北地区の一般地震群と前兆震群の応力軸の比較	57
3.2.6	地震群の中の主な地震の応力降下	58
3.2.7	地震群の b 値	58
3.2.8	\bar{F} 異常値と本震との関係	61
(図) 3.2.1	华北地区地質構造と地震の分布図	23
3.2.2	华北地区地震活動の推移状況図	24
3.2.3	地震活動の転移	25
3.2.4	中华大陸東部、地震・火山・温泉分布図	28
3.2.5	唐山地震震度分布図	31
3.2.6	唐山地震の断裂系と余震分布	32
3.2.7	华北地区大地震前の地震空白域	33
3.2.8	华北地区大地震前の b 値の異常変化	38
3.2.9	邢台、渤海、海城、唐山地震の震央を重ね合せ た場合の前震の分布	42
3.2.10	地震前長期の b 値の異常変化	44
3.2.11	主震からの距離による b 値の変化	45
3.2.12	京津唐渤海張地区における唐山地震前の b 値の時 間的变化	46
3.2.13	京津唐渤海張地区における唐山地震前各期の b 値 の空間変化	49
3.2.14	京津唐渤海張地区内震央分布	51
3.2.15	地震前の b 値の変化例	53
3.2.16	华北地区の前兆震群の活動	54
3.2.17	华北地区の大地震前の地震活動の特性	55
3.2.18	凉城、磴口地震序列図	56
3.2.19	华北地区の地震の発震機構	57
3.2.20	华北地区主圧縮応力方向	59
3.2.21	京津渤海張地区の唐山地震前後の地殻の応力状態	60
3.2.22	唐山地震前後の \bar{F} 値	61
3.2.23	\bar{F} 値異常と本震との関係	62

3.2.24 唐山地震前後の微小地震の震源パラメータの変化	63	
3.3 重力と地殻変動	66	
a) 重力測量	b) 大灰厂（廠）地形变站（地殻変動観測所）	
(図) 3.3.1 重力測量ルート	66	
3.3.2 北京一唐山, 北京一山海关, 北京一天津の重力時間変化	67	
3.3.3 1971-1975年, 1975-1976年, 1976年3月末・同年7月初旬の重力変化	67	
3.3.4 大灰厂地形变站における測定器の配置	68	
3.3.5 唐山地震前後の傾斜変化	69	
3.4 地磁気・地電流	69	
a) 地球物理研究所	b) 北京地震基准台	
c) 唐山地震に伴う電磁気の変化		
(図) 3.4.1 テレメーターによる北京週辺のプロトン磁力計観測点	70	
3.4.2 唐山地震に先行した土地比抵抗変化	70	
3.5 唐山地震の地表地震断層	71	
(表) 3.5.1 唐山地震の発震機構と地表地震断層	71	
(図) 3.5.1 唐山地震(1976年7月28日, M 7.8)のP波初動分布	72	
3.5.2 唐山市内にあらわれた唐山地震の地震断層	72	
3.5.3 唐山地震の最大余震(1976年7月28日, M 7.1)に伴って滦县に生じた地震断層	74	
3.6 地熱及び古地磁気など	75	
(表) 3.6.1 中国科学院地質研究所地熱研究室のメンバー	75	
(図) 3.6.1 地熱研究室の人々	75	
3.6.2 热伝導度測定装置	76	
3.6.3 华北地熱図	77	
4. 辽宁省の地震予知活動	80	
4.1 1975年海城地震について	80	
a) はじめに	b) 實践-认识-実践-再认识	
c) 直前異常現象	d) 金县の短測線水準と小地震群の活動	
e) 海城地震その後	f) おわりに	
(表) 4.1.1 1975年海城地震の予報の経過	82	
4.1.2 华北地域における $M = 7$ クラス以上の地震	84	

4. 1. 3	渤海北部地域の小地震群	90				
(図) 4. 1. 1	大地震震央分布図	81				
4. 1. 2	金县における短測線水準測量の結果	81				
4. 1. 3	直前の動物異常（動物異常）の分布	85				
4. 1. 4	沈阳地震基准台の傾斜方向の変化	85				
4. 1. 5	102隊自然電位日変化曲線	87				
4. 1. 6	102隊自然電位日平均変化曲線	87				
4. 1. 7	海城地震前震の1時間当たり発生数の変化	87				
4. 1. 8	辽南地区の震央分布図および群発地震の分布図	90				
4. 1. 9	海城地震余震分布図と高伝導度層との関係	92				
4. 2	地殻変動・重力	萩原幸男 93				
a)	長水準	b)	短水準	c)	重力変化	
(表) 4. 2. 1	海城地震前の微小地震群	95				
(図) 4. 2. 1	辽东半岛の長水准路線	94				
4. 2. 2	辽东半岛の垂直地殻変動	94				
4. 2. 3	海城地震前後の垂直地殻変動	94				
4. 2. 4	金县台の位置図	95				
4. 2. 5	金县台における短水准変化	95				
4. 2. 6	海城地震前の微小地震群の震央	95				
4. 2. 7	辽东半岛の重力測線	96				
4. 2. 8	重力測定の順序	96				
4. 2. 9	北鎮・庄河間の重力変化	96				
4. 3	地磁気・地電流	力武常次 97				
a)	沈阳地震基准台	b)	石硼峪地震台			
c)	辽宁省冶金地质勘探公司102隊	d)	虎庄人民公社			
(図) 4. 3. 1	海城地震に先行する地震電位差変化	98				
4. 4	辽宁省海城地震地区の地質と地震断層	松田時彦 99				
a)	地質概況	b)	海城地震の地震断層			
(図) 4. 4. 1	海城地震の震央と周辺の地質図	100				
4. 4. 2	海城付近から北西方へ辽河平野を横断する地質図	101				
4. 4. 3	海城地震に伴って孤山公社二道沟付近にあらわれた地震断層線	103				
4. 4. 4	海城地震による二道沟付近の地震断層	103				
4. 4. 5	二道沟地裂線とトレンチ内の露出	104				

4.5 宏觀現象	松田時彦	105
(図) 4.5.1 海城地震の直前に自噴した井戸		106
4.5.2 宏觀異常現象を示すかどうかを知るために実験的に植えられているネムなどの植物		106
4.5.3 二つの樹幹間の電位差の観察		106
4.5.4 海城地震の振動で床下から噴砂が入りこみ、その砂で埋った室内		107
5. 四川省の地震予知活動		109
5.1 総論	青木治三	109
(表) 5.1.1 松潘・平武地震の主な予知過程(四川省)		113
5.1.2 松潘・平武地震予知過程における平武県地震台の活動		114
(図) 5.1.1 四川省、云南省および周辺における地震活動		109
5.1.2 松潘・平武地震の震度分布		110
5.1.3 1900年以後の強地震($M \geq 6$)の月別頻度分布		112
5.2 地震活動	青木治三	114
a) 震源移動の規則性	b) 地震波速度の異常	
c) 地震活動		
(図) 5.2.1 松潘・平武の三地震の初動分布		115
5.2.2 松潘・平武地震の主震と余震の分布		115
5.2.3 最近50年間に発生した $M 7$ 以上の地震		115
5.2.4 川滇大震の南北移動図		116
5.2.5 鮮水河地震帯と松潘・龙门山地震帯の対応関係		116
5.2.6 震源地区における地震波速度の変化		116
5.2.7 松潘・龙门山地震帯における月頻度の変遷		117
5.2.8 松潘・平武地震前の地震活動の変化		118
5.2.9 松潘・平武地震活動変化		119
5.3 地殻変動・重力	萩原幸男	121
a) 長水准	b) 短水准	c) 重力測量
d) 重力計のドリフト異常	e) 傾斜観測	
(表) 5.3.1 四川省北部の水準測量		121
5.3.2 四川省の重力測量		122
(図) 5.3.1 四川省の水準路線と重力路線		121
5.3.2 松潘台の短水准変化		121
5.3.3 重力段差変化		123

5.3.4	成都地震基准台の施設配置図	123		
5.3.5	成都地震准台における Askania G 15 型重 力計ドリフト異常	124		
5.3.6	彭县岷江齿轮厂群測点における観測坑内配置図	124		
5.3.7	平武地震台のレーザー傾斜計の原理図	124		
5.4	地磁気・地電流	力 武 常 次 125		
a)	都江堰发电厂	b) 四川省地震局	c) 成都地震基准台	
d)	岷江齿轮厂	e) 平武(县) 地震台		
(図) 5.4.1	成都地震基准台における比抵抗変化	125		
5.4.2	成都地震基准台における無定位磁力計および偏角 変化計の記録と大邑臨時観測点における比抵抗変化	125		
5.4.3	綿竹富新中学における地震位差変化	126		
5.4.4	岷江齿轮厂における地震位差変化	126		
5.4.5	岷江齿轮厂における偏角変化	126		
5.4.6	柿岡における偏角変化	126		
5.4.7	水晶および古城における地震位差変化	127		
5.5	地 質	松 田 時 彦 127		
a)	龙门山断烈帶と四川盆地	b) 虎牙断層と付近の地質		
c)	松潘・平武地震と虎牙断層			
(図) 5.5.1	松潘・平武地震の震度分布と虎牙断層	129		
5.5.2	虎牙断層付近の地表の擾乱・圧縮現象	130		
5.5.3	虎牙断層上の断層谷地の景観	130		
5.5.4	山崩れと泥石流によって埋きとめられた涪江	131		
5.5.5	松潘・平武地震に伴う山くずれと泥流	131		
5.5.6	平武地震に伴う山くずれ	132		
5.5.7	大規模の表層の滑落	132		
5.5.8	地震による家屋の被害	132		
5.5.9	地震でくずれた小河の病院	133		
5.5.10	地震で壊れた平武县水晶の売店の食堂の壁	133		
5.5.11	横壁に生じた X型の亀裂	133		
5.6	宏観現象	松 田 時 彦 134		
(表) 5.6.1	四川省松潘・平武地震の予報の発表時期と内容	135		
5.6.2	地震前にあらわれた井戸水の一時的な化学成分の 変化	139		

(図) 5. 6. 1 龙門山断裂帯にあらわれた地震前の宏観異常現象	
の種類と頻度	134
5. 6. 2 1978年8月16日 (M 7.2) の松潘・平武地	
震の予報で述べられた地震発生予想地域	135
5. 6. 3 龙門山断裂帯で生じた異常現象の報告数	136
5. 6. 4 四川省龙門山断裂帯に沿う宏観異常現象の出現地	
域の移動	136
5. 6. 5 平武県の宏観現象の発生状況	137
5. 6. 6 平武県における大動物の異常についての統計	138
5. 6. 7 震央東南50 kmにおける8月16日大地震約2	
時間前の深井戸の水位変化	139
5. 6. 8 綿竹省での火球の出現地区	140
5. 6. 9 1976年7月26日～8月4日平均気温異常分	
布図	140
5. 6. 10～5. 6. 18 (動植物の異常を示す数例の写真)	141
10. 餓死したパンダ 11. ユズの重花 12. 火球に焼 かれた爪藤 13. 養魚池の魚の異常行動 14. ウサギ の異常行動 15. 乳牛の異常行動 16. 放心状態の白 鶴鶴 17. 泡立つ溜池 18. 枯れた泉	
6. 予知情報と防災	木 邰 光 宏 144
(図) 6. 1 海城とその周辺	148
6. 2 松潘・平武の位置	148
6. 3 四川省平武県の養魚場	149
6. 4 松潘・平武地震で壊れた家	149
6. 5 平武の街のスピーカー	149
6. 6 緊急の連絡は電話で	149

付録 虢順民・李志义・程紹平・陈献程・陈孝德・杨主恩・李如成：唐
山地震区域構造背景和发震模式的讨论

(訳：柳田鐵雄，柳田誠；松田時彦の紹介による)

中国の地震予知の現状

1978年訪中地震予知調査団の報告

1 はしがき

力 武 常 次

1.1 経 過

1978年5月4日付の中国科学院外事局長発 力武常次宛招待状に基づき下記の調査団を編成し、9月4日-25日にわたり中国各地において視察見学および討論を行なった。

1.2 団構成

団長	力武 常次	東京工業大学教授
副団長	高木 章雄	東北大学教授
団員	高橋 博	国立防災科学技術センター第2研究部長
"	上田 誠也	東京大学教授
"	青木 治三	名古屋大学教授
"	松田 時彦	東京大学助教授
"	萩原 幸男	東京大学教授
随行員	木邨 光宏	NHK放送記者
"	横山 裕道	毎日新聞記者

1.3 活動概況

a) 行動概要

9月 4日	北京着、北京滞在
9月 7日	鉄道にて沈阳（瀋陽）
9月 8日	鉄道にて鞍山へ
9月 9日	自動車にて营口（營口）
9月 10日	鉄道にて沈阳へ
9月 11日	沈阳より空路成都へ
9月 12日	成都滞在
9月 16日	自動車にて平武へ、平武滞在
9月 19日	平武より成都へ
9月 20日	成都より空路北京へ、北京滞在
9月 21日	人民大会堂において、王震副総理と会見

9月25日 東京着

b) 観察見学場所

国家地震局地球物理研究所
中国科学院地球物理研究所
北京地震基准台
沈阳地震基准台
二道沟地震断层（層）
牌楼人民公社丁家沟生产大队群测点
营口市石硼峪地震台
辽宁（遼寧）省冶金地质勘探公司102地质群测点
虎庄人民公社郵便支局群测点
水源人民公社噴砂現場
营口東北乐器厂
都江堰发电厂群测点
成都地震基准台
彭县岷江齿轮（輪）群测点
虎牙断层
平武地震台
大灰厂地形变观测台
国家地震局地质研究所
中国科学院地质研究所

c) 中国側講演

郑（鄭）治真 : 地下水資料的数学沪波及唐山大震孕育過程的一点看法
林 邦 慧 : 唐山地震前後の Q 値変化
赵（趙）文峰 : 海城7.3級地震地质背景
卢（盧）造勋（勲） : 海城7.3級地震前后的重力变化
顾（顧）造鼎 : 小震群活動 S 波偏振
朱风（鳳）鸣（鳴） : 1978年5月18日 $M 6.9$ 級地震
韩（韓）渭宾（賓） : 松潘，平武地震预测预报情況简介
陈（陳）天长 : 松潘，平武地震的地震活動前兆
张（張）定千 : 松潘，平武7.2級地震前地殼形変及预报概況的介绍（紹）
杨（楊）王明 : 关於松潘，平武地震前重力場变化
朱 皆 佐 : 松潘，平武地震宏观（觀）前兆简介
李兴（興）龙（龍） : 松潘，平武地震的防震抗震和群测群防工作情况介

中国の地震予知の現状

楊（楊）理華（華）：唐山地震区現代構（構）造應（應）力場（楊）
季 欽 祖 : 唐山地震メカニズムと応力場
胡 長 和 : 唐山地震前兆現象
趙 炳（煒） : 唐山地震重力場変化

d) 日本側講演

力武 常次：日本の地震予知

：比抵抗変化

高木 章雄：東北日本弧 - 海溝系における地震活動の特徴

青木 治三：名古屋大学の地震観測網 中部地方の地震活動について

高橋 博：岩槻，下総地震観測孔

上田 誠也：プレート構造と地殻熱流量

松田 時彦：日本における活断層の地震地質学的研究

萩原 幸男：地震に伴う重力変化

1.4 所 感

a) 热烈歓迎

日中友好平和条約の締結直後というタイミングでの訪問であったため、至る所で熱烈な歓迎を受けた。できる限り我々の希望を受け入れながら組まれ、びっしりつまつたスケジュールはスムーズにかつ余すところなくこなされた。今回の訪問を通して、中国科学院、国家地震局、省地震局などの示された細かい御配慮に、訪問団一同感謝の念を禁じ得ない。

四川省は外国人に開かれたばかりであり、とくに平武県にとって、はじめての外国人訪問客ということであった。虎牙断層に至る道は、雨期のため至るところ寸断された状態であったが、2,000人の住民を動員して道路を整備して、我々を迎えたという。省や県の革命委員会、訪問先の観測所、大衆観測点の方々には大変お世話になったことは言う迄もない。

学術講演の通訳はもとより、日常の世話に至る迄細心の注意を払い、団員が快適な日々を送ることのできるように心を配られた外事関係の方々の働きにも心からお礼を言いたい。3週間、団員は病気・事故もなく、十分に訪中の成果を挙げることができたのは、これらの方々の御親切の賜である。

b) 地震台

観測所は一般に観測に適した場所が選ばれている。地震観測だけでなく、十分に広い面積に傾斜・伸縮・短水准・重力・地磁気・地電流・ラドン濃度など、多岐にわたる観測をかなりの人員によって維持している。広大な国土を観測網によって均等にカバーすべく配置された地震観測所の他に、特殊な目的をもつ、例えばある活断層の挙動を見守るといった地殻変動観測所も多い。

観測設備はわが国のそれと比較して一般に性能は劣るようであるが、上述したように多種目の観測を実施する総合観測所であることが特徴といえる。観測員も分野ごとに配置されているので、いきおい多人数を要し、ときには30をこえる陣容を誇る観測所もある。観測所が重視されていることを感じる。若干は進められてはいるが無人観測ステーションからのテレメータリングは将来の問題である。

c) 大众観測（大衆観測）

大衆による観測点を群測点という。訪中前の予想では、通り一遍の地震教育を受けた農家の主婦のような、まったくの素人による観測を指して大众観測とよぶものと考えられた。しかしこの度訪問したいいくつかの群測点はこの予想をくつがえした。群測点は、例えば物理探鉱を専門とする人民公社の大隊、発電所、あるいは精密機械工場といった所に働く、高度な技術者によって維持されている。

群測点の観測設備は地震局専属の地震観測所に決して劣らず、傾斜・伸縮・地磁気・地電流・ラドン濃度等にまで観測種目が及んでいる。国家地震局から送られた設計図をもとに計器類を群測点で製作することもあるし、群測点独自の工夫をこらすこともある。それは、高い技術水準を示す証拠として、群測点の誇りとされる。

省の地震局は専属の観測所を中心に群測点をよく把握・指導し、地震教育を欠かさない。群測点のデータは地震局に集められて、地震予報の判断の資料とされる。群測点によっては、データの信頼性についての重みを多少変えて判定しているようである。

d) 地震予報

本震の前に明瞭な前震活動があるときは、比較的地震を予報しやすい。海城地震では典型的な前震活動が見られた。これに対して、松潘・平武地震では、これといった明瞭な前震活動はないまま、見事に临震预报（臨震予報）に成功している。これは前震活動だけでなく、前述した多種目の観測、水準測量のような流动観測（移動観測）、それに宏观異常（動物の異常行動、発光現象、地下水の湧出など計器観測にかららない異常現象）をも加え合わせて、総合的に判断した結果である。

とくに宏观異常は到底想像もつかない程確実に、地震がひしひしと切迫してくる様子をとらえるようである。このような現象の発生は次第に震央付近に集中するようになり、回数も増加するが、地震直前にはむしろ減少する。このような異常を、純粹に地球物理的観測による異常と総合して、つまり科学的というよりはむしろ勘を働かせて予知するものである。事実として、地震発生の数時間前に临震预报を出し、住民を避難させて災害を最小限に食い止めることに成功している。唐山地震の临震预报の失敗は前震がなく、工業化によって宏观異常が現われなかったことに原因があると考えられる。

今回の訪中の成果は、中国における長・中・短期および临震预报の出し方がわかったことである。

e) 問題点

i) 中国においては、地震の先行現象のシグナルが我々が予想していたよりも大きく、かつ広域にわたって現われるようである。これは大陸の均質な地殻構造に原因していると思われる。これに対して、中国の計器がまだシグナルをとらえるに十分な精度に達していないことに原因があるとの意見もある。近い将来、日中協同観測が具体化すれば、この問題は氷解するものと思われる。

ii) 中国における地震予知要素の中に宏观異常現象があることは前述した通りである。日本の地震予知関連機関でも、この現象を総合的にじめにとり上げる必要があろう。

iii) 中国の地震観測所は地震のみならず、傾斜・伸縮・重力・地磁気・地電流・ラドン濃度など、総合観測所である。日本のように地震だけ、地磁気だけといった単能観測所ではない。

また活断層上に配置するといった、目的の明確な観測所もある。これらは我が国の観測所の現状を反省する材料になると思う。

iv) 大众観測点、つまり群測点の状況は我が国に歪んで伝わっていた。素人による観測点ではなく、専門技術者によって維持される観測点である。地震局所属の本格的な観測所に近い機能をもち、観測密度と面積的な広がりにおいて、観測所を補っている。

v) 長・中期预报に関しては、全国の省地震局の専門家が国家地震局に集まって討議をして決定する。短期预报は原則として省地震局の単位で行ない、临震预报は省または前線基地で地球科学的および宏观異常現象を総合的に判断して行なう。

予報に対する責任は行政サイドがもち、“予報の外れ”に対しては科学者をとがめない。予報を躊躇するよりはむしろ積極的に予報を出す方向にある。行政サイドの協力が密接である。

f) 今後の交流

国家地震局長はとりあえず研究生1名を東工大に派遣する準備をしていることを述べた。このことは在日中国大使館を通じて東工大に連絡があった通りである。1979年末または1980年初ごろ北京で日中地震予知セミナーを開催したいとの非公式提案があった。なお和達、萩原（尊）両先生を招待したいとの意向をもらした。王震副首相との会談において、日、中、米、ソなど地震予知先進国がチームをつくって発展途上国の地震予知を援助することの可能性が議論され、原則的には意見が一致した。なお日本の若手研究者が観測器持参で年単位の長期間滞在をして協同観測を行なうならば有意義な結果が得られるであろう。上記の点をふまえて、今後は政府間協定によって予算の裏づけのある交流を促進すべきである。

1.5 謝辞

今回の訪中に際しては特に下記のかたがた（順序不同）のお世話をなったことを記して感

謝の意を表する。

在日中国大使館：陈抗，金蘇城，张宇杰

中国科学院，国家地震局，地球物理研究所，地质研究所：邹（鄒）瑜，顾（顧）功叙，

胡克实（實），安啓元，邹其嘉，郝汀，丁国瑜，強祖基，长（長）宗晋，高文学

北京基准台：周锦（錦）屏

辽宁省地震局：朱风鸣（鳳鳴）

沈阳地震基准台：蒋稳（蔣穩）

石硼峪地震台：高金生

四川省地震局：罗（羅）灼礼，韩渭宾，陈天长

成都地震基准台：程燧

平武县地震台：李兴龙

大灰地形变站：李強

通訳：陈鉄城，孙永华

2 中国における地震予知・震災予防に関する組織について

高木 章雄

2.1 二本の足で道を歩む

中国では古くから“二本の足で道を歩む”という諺があり、多くの分野の仕事がこの方針に基づいて進められている。地震に関する国家的事業もまた、この考え方で貫かれている。地震予知と震災予防の事業が組織的にたくみに組合わせられていること、また、専門家の観測研究と一般大衆の観測が相補的に機能している、いわゆる専群結合の地震予知体制、さらに新しい技術と古くからの経験に基づく伝統的方法の組合せによる土洋結合の予知戦術等は特に二本足で道を歩むことの実践であり、幾多の地震予知・震災の軽減に成功した大きな理由ではないだろうか。

2.2 中国における地震予知事業の組織

中国における地震予知事業の組織は図2.1に示すように、実用的な地震予知・予報業務を遂行するため、研究・監視的観測体制と予報業務の責任を担当する行政側が密接に結ばれていることが特長的である。中国訪問中、行政面に重きのある地震弁室関係者が表裏一体となっている姿に接し、大いに感銘を受けた。

全国の地震予知および地震対策に関しては国務院直属の国家地震局が総括的な責任を負い、

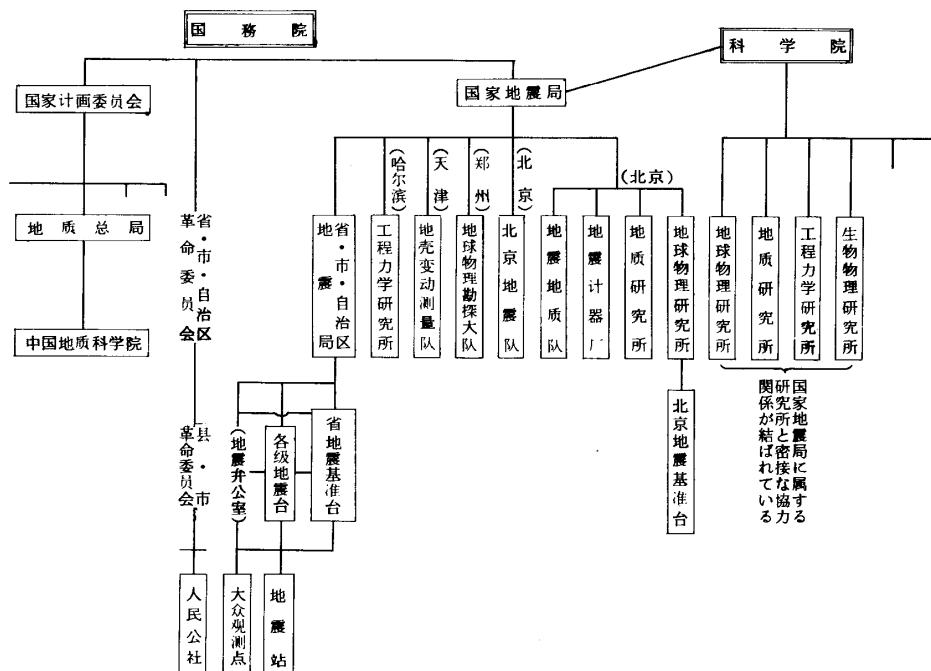


図 2.2.1 中国における地震予知事業の組織図

— 直接観測・解析にたずさわる —

予報業務に関しては、それぞれの行政区の革命委員会が責任を負っている。

a) 国家地震局

国家地震局は地震事業を推進するため、地震に関する基礎及び応用研究を推進すると共に地震予知、耐震工学等を含めた震災予防の方針を確立する責任を有している。具体的には原則的に年一回開かれる全国地震情報検討会にて地震発生の可能性のある地域の指定、すなわち長期的予測をまとめ、それに伴う地震事業を推進する。そのために地震資料の収集、解析等が重点的に行なわれている。また地震活動に関連して重点的な地域には国家地震局直属の省地震局が現在六つ省都に設置され、それぞれ規模に差があるが、その省の地震予知・予防の仕事を進めている。これらは沈阳、昆明、成都、石家庄（莊）、乌鲁木齐等の都市におかれており、その他、省に直属して、南京、合肥、郑州、福州、天水、兰（蘭）州、济南、哈尔滨、西安、广（廣）州、太原に地震基准台がおかれており、地震局のない省には地震大队（隊）が配置され、地震弁公室と共にそれぞれの地域の地震事業を推進している。もちろんこれらの省に属する地震基准台、地震大队等は国家地震局の指導を受けている。

このように国家地震局は中国における地震観測網を統轄すると共に図2.1の如く各種研究所及び予知研究のための特別観測を実施する組織を有している。北京には地震予知研究の中核となる地球物理研究所、科学院から一部移管され、地質調査研究を主体とする地質研究所、地殻応力測定を主に応力場と地震発生のメカニズムの研究を重点とする地震地质隊、各種計測器の開発、製作、設置等を担当する地震計工場等がある。また郑州には地球物理勘探大队がおかれ人工地震による地殻構造の研究が行なわれている。天津には地殻変動測量隊（地殻変動測量隊）があり、測地測量、地殻変動の研究観測を行なっている。さらに黒竜江省哈尔滨には工程力学研究所が設置されていて、耐震建築及び地震動と地盤に関する研究が精力的に推進されている。

このように各種研究所を傘下に持ち、かつ全国にわたりぼう大な実施機関を持つ国家地震局はその運営のために下記の組織を持っている。

- (1) 地 震 处 群測群防の指導
- (2) 科 学 研 究 处 重点研究計画の立案
- (3) 物 质 处 資材・器機保管配分自動車等の配分
- (4) 計 画 等 济 务 处 予算計画決定
- (5) 基 本 建 設 处 建設に関する一切、住宅建築も行なう。
- (6) 技 術 情 报 室 資 料 室
- (7) 弁 公 室 事 務 関 係
- (8) 分 析 預 报 センター 地震活動についての検討

b) 国家地震局地球物理研究所

地球物理学研究所は1949年地震学、気象学、地球電磁気学、物理探査学の4部門によ

中国の地震予知の現状

り組織され中国科学院付属として設立された。1960年には物理探査学、1966年には気象学の各部門がそれぞれ独立した。1978年には地震学を主とした地球物理研究所を国家地震局直轄とし、また地震学を除く固体地球物理学の分野を集めて科学院付属の地球物理学研究所に編成替えされた。国家地震局地球物理研究所は八つの研究室により構成され、専門職員は300人を超えていた。

研究員、副研究員（教授・助教授に相当する）は約20人、助理研究員（講師に相当する）は約110人、実習研究員（助手に相当する）は100人余である。研究員、副研究員、助理研究員が研究スタッフであり、実習研究員は大学及び専門技術学校出身者で、将来の研究員となるべき専門家である。

研究テーマは大別して七つに分けられているがそれぞれの研究室がこれらを分担している。

(1) 地域的地震活動の研究（第1研究室・第4研究室）

北京、天津、唐山、张家口を含む10万平方キロにわたる地域、日本でいえば首都圏に相当するが、この地域の地震活動の解析を行なっている。第1研究室はデータの解析、第4研究室はデータの収集を中心としている。この首都圏ともいえる地域に約21カ所のテレメータ観測点を配置し、微小地震の集中観測を行なっているが、それらの時間空間分布、微小地震と大きな地震の関係、スペクトル、 P/S 速度比等が解析されている。

(2) 全国の地震活動度の研究（第2研究室）

中国は有史以来長年の地震資料があり（約3000年）、地震発生に関する規則性の解析が可能で既に地域的な地震発生の性質が解明された。これらの基礎研究から地震の発生過程、地震発生と応力場の関係、大陸プレートの動力学、歴史資料に基づく統計的研究による長期予報の研究等が行なわれている。

(3) 震源物理の研究（第3研究室・第8研究室）

観測と実験により震源付近の物性の時間的变化について研究が進められている。

地震エネルギーの蓄積に伴い、各種地球物理的現象の異常はどのような時間的経過をたどるか？また発生後の物理的变化等を、高温高圧の岩石破壊実験、及び地球物理的観測から調べている。これらの研究は第3研究室が分担している。また人工地震、自然地震を利用し各地域の地殻・上部マントルの構造・また表面波の分散を利用して全中国にわたりそれぞれの地域の平均的地殻構造の研究調査を行なっており、これらは首都圏を中心としたP波の速度の異常検出に利用されている。この研究は第8研究室にて担当している。

(4) 地磁気・地電流に関する研究（第5研究室）

地震発生前後の地磁気・地電流の変化を研究しているが、特に首都圏10万平方キロに地磁気観測点のネットワークを作りテレメータにより集中観測を実施している。現在は7観測所であるが近い将来9カ所増設し、計16点の地磁気観測所を作り上記研究が行なわれるこになる。なお首都圏には116の磁気点があり、1カ月1回の繰返し観測が実施されている。

地震発生前後に地磁気・地震流の変化があることが認められ、その後その特性を調べるために特にこれらの観測を重点的に取扱っている。また現在は圧磁気に関する研究も始められている。

(5) 測定機器の試作研究（第6研究室）

よりよい資料を得るために各種測定器の試作改良が行なわれており、ダイナミックレンジが大きく、かつディジタル化するための記録方式の研究に努力している。1観測点の器械の標準化及び自動化に努め、現在可搬型磁気記録計の試作が行なわれている。さらに深井戸による各種観測の研究が強力に進められている。

(6) 地震学に関する外国の文献の収集及び国家の論文の出版（第7研究室）

地震学に関するあらゆる文献の収集整理を行なうことは大事なことであるから一つの研究室にて専門に取扱っている。

以上が研究室の内容の大略を述べたものであるが、われわれ訪中団の帰国直後に人事移動があることが予定されていたから既に多数の新しい研究員、副研究員、助理研究員が生まれ、さらに、活発な研究活動が行なわれていよう。

また、一般的には全国17カ所にある地震基准台はそれぞれの省に属しているが、北京郊外白家疃にある北京地震基准台は特別にこの地球物理研究所に直属し、首都圏といえる北京、天津、张家口、唐山の地域の特別観測に重要な役割を果している。

c) 省地震局・地震大队

先に述べたように中国の多くの省には必要に応じ地震局または地震大队がおかれており、担当域で得られたデータや、大众観測により得られた資料等を分析し、結果をとりまとめ、かつ地震活動について重要な結論を得た時には省革命委员会・国家地震局に報告する等、地震予知に関して、その地域の中核的機関であり付属の地震基准台、地震站を統轄し、かつ次のような組織を持っている。

分析预报研究室

地 震 队

地 震 测 量 队

觀 测 計 器 工 場

電子計算機管理室

研究所（将来計画）

その他図書・資料保管・資材供給管理

省地震局はこれらの機能を有しているが地震大队の場合には必ずしもすべてがあるわけではない。しかし预报分析研究室は必ずその中心となり、必要に応じ地震隊・測量隊等が配属されている。

d) 地震基准台・地震台・地震站

全国の 17 の地震基准台は中国の幹線観測網を形成し、省地震局管理の下におかれているが、北京地震基准台のみは地球物理研究所の管轄に入っている。これらの基准台の構成員は研究者を含め約 30 名で、地震発生のすべての過程を把握するために地震・地磁気・地電流・重力・傾斜・地殻応力・地下水・ガス分析等の総合観測を行なっており、地震計も長周期・短周期・高低感度等多種にわたり使用され、高い水準の観測所である。

地震台は省に属するものもあるし、県等の地方行政機構の中にあるものもあるが、観測系統では基准台の下におかれている。標準の地震計の他、地磁気、地電流、傾斜、地殻応力、ラドン濃度等の観測がされていて基准台と比較し観測項目は少ないが内容は同程度のものであろう。これらの地震台はそれぞれの周辺の地域の地震予知・予防の中心的役割を持ち、観測データの収集分析を行なうとともに地震予知・防災知識の教育工作を行なっている。

地震站は地震台の下にあり観測項目は比較的少ないが基准台・地震台による省の観測網を補う役割を果たしている。この地震站はまた地方の大眾観測点と密接に連携し、宏观現象の情報等の収集にもあたっている。省により地震台・地震站の数の差はあるが、四川省・雲南省等では 20 年前後であるといわれる。

e) 地震弁公室

地方行政組織の中、すなわち县（県）・人民公社等に地震弁公室がおかれている。この地震弁公室は地震事業についての行政面を担当するのみでなく、地震台・地震站の専門家と密に連絡しつつ、一般大眾に対しては地震予知知識の普及や大眾観測の組織作り等を実施している。群測群防の推進役を果たしているのでまさに中国における専群結合の主役であり地震事業の潤滑油の役目を果たしている。

特に短期・臨震预报が出され大眾の宏观現象の報告を受けた時にはこの弁公室の職員が確認する等、予報の確度を高めるために努力していると聞いている。さらに緊迫を告げる各種異常現象に接し、それを前兆現象として判定して、临震に関する予報意見を報告する際、専門家の間では必ずしも地震の大きさ、場所、時間について意見が一致するとはかぎらない場合が多い。しかし革命委員会主任は住民の生命・安全を守るために即刻予報を発表する決断をしなければならない。その場合、住民の生命、生活の安全のために大事をとった判断を行なっていると聞く。緊急即断を適確に行ない得ることはこの弁公室職員が當時専門家と行政を結んだ活動を続けている結果であると考えられる。つまり中国の地震予知・予防を成功させた陰の主役ではないだろうか。

f) 大眾観測

大眾観測といえば、宏观現象の観測、すなわち簡単な器械もしくは器械なしで観察される地下水、気温、地表面の異常、動物の異常挙動等が考えられるが、決してそれだけない事が今回の訪中で認識された。一つの地域が地震活動のある段階に達したと認められた時期に、多くは中期・短期预报の出た時であるが、省地震局・革命委員会は学校・工場・鉱山・郵便

局・資源調査隊・人民公社等に対して、既存の地震予知のための各種観測網を補完するためには、本来の業務以外に観測を行なうことを要請し、それに答えて行なわれるものが大众観測と呼ばれている。その結果、たとえば資源調査隊は地磁気・地電流の観測を実施するのであるがその手法はまさにその隊の専門でもあるから実際に高水準の大众観測点が誕生するわけである。また四川省の山の中の齒車工場（岷江齿轮厂）を維持する大众観測点を訪問した時の驚きは今も記憶に新しい。齿轮厂は精密機械工場であり一たん大众観測点に指定されるや直ちに周辺の技術工場の協力を得て自ら地震計・記録計等の観測器を製作し、かつ観測横坑を掘削し、既存の高い水準にある地震台と同じ観測所を作り上げたのである。まさに自力更生であり、このような大众観測点が、広範囲に分布し一つの異常も見逃さないよう努めている。宏観現象観測点と組合わされて大衆による観測網が構成され、専門家による観測網を強力に支えている。このような大衆による観測網は中国の地震予知の成功を支えた一つの原動力であろう。

2.3 おわりに

中国における地震発生の過程はわれわれに多くの事を教えてくれた。各種前兆現象の時間空間的集中のパターンは、岩石破壊実験の結果から想像される応力の局所的集中 → 部分破壊による応力解放 → 応力の局所的集中の再編成 → 解放………、この繰返しを経て最後に本震発生域に最大応力集中があつて大地震に至るという考えに近いのであるが、現在の地震予知研究では、これらの応力集中による前兆現象の定量的な解明は不充分であり、また地震現象そのものが地域性を持つので前兆現象は極めて複雑なものと考えられる。よって現在われわれが前兆現象を判断する場合には、各種異常現象が時間及び空間的に集中することをもって、より客観的判断として考えている。その意味で専群結合の組織を持ち、面的に密度の濃い常時監視体制を有する観測網を組織している中国の地震予知体制はもっとも合理的なものであろうと考えられる。

3 北京周辺の地震予知活動

3. 1 総 論

高 橋 博

北京とその周辺は京津唐渤海張（北京・天津・唐山・渤海湾・张家口）地区、あるいは、これらの中の幾つかの地区名をとって呼ばれ、東西およそ300～400km、南北およそ200～300km、面積大略10万km² 程の地域である。この地区は、中国の首都圏であり、その中心は、中国の政治・経済・文化の中心である北京市（人口約700万人）である。この地区には、北京市と共に中国の3特別市のひとつであり、重軽工業・商業・運輸などの上で重要な天津市（人口約430万人）や、百年の歴史をもつ开滦（開礦）炭田の中心であり、石炭工業のほかセメント・陶磁器・化学・発電等の諸工業を有する唐山市（人口約100万人）などの重要な諸都市を含む。しかるに、この地域は、わが国の首都と同じく、大地震の繰返し発生する所である（図3.1.1）。

この地区は、行政上は北京市と河北省に属し、地震予知事業も北京市については、国家地震局地球物理研究所が、その他の地域については河北省地震局が担当している。

以下に地震予知に関する主な機関について記す。

a) 地震予知関係機関

顧功叙付所長によると、国家地震局地球物理研究所は1978年初めに中国科学院地球物理研究所（1948年設立）から、その中の地震に関する部門を切り離して設立され、8研究室と約300人の人員からなる。その内、北京地区の地震予知に関する組織は主として第1・第4の研究室と第5の研究室である。第1・第4の研究室は京津唐張地区約10万km²の主に微小地震の研究を行なっている。その主なものは微小地震の時空分布、発生の規則性、大地震との関係、あるいは地震波のスペクトル構造、地震波速度の変化等についてであり、前兆となる可能性のある幾つかの事柄がみつかっている。これらの研究の解析は主に第1の研究室が当り、観測点からのデータ収集には主として第4の研究室が当っている。現在、研究所の主体は北京市の北の郊外に移ったが、第4の研究室はテレメータによる常時観測を行なっている関係上、観測が移転で中断することを避けるため、中国科学院の並びの元の場所に現在もある。観

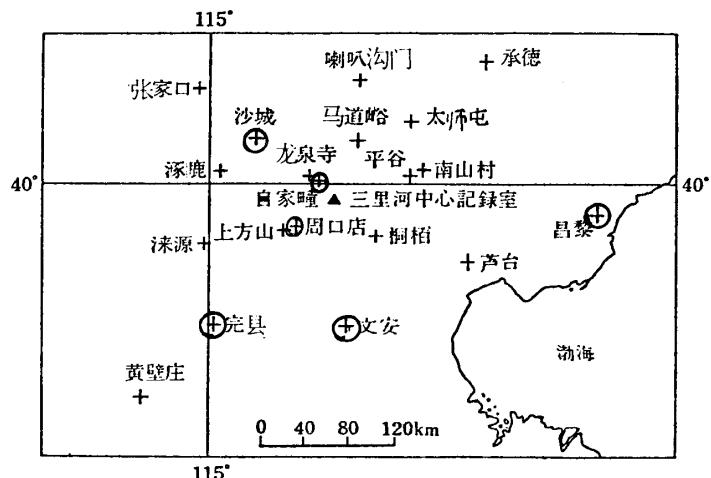


図 3.1.2 北京周辺テレメータ観測点配置図
 (中国資料と尾池の図より)
 十字:地震、丸印:地磁気

測は上記10万km²の範囲内の21の観測点から(図3.1.2)電話回線で伝送されてくる。信号の送り速度2mm/sのスス書きドラム記録で行われている。地震計は固有周期1Hzの上下動を主体とし、上下水平3成分が設置されている所もある。倍率は所により異なるが数乃至数10万倍である。震源決定は上下動スス書き記録によって行い、読み取りからデータ処理まで人手で行なっている。1インチ磁気テープで14チャンネルのアナログ磁気記録が試験的に行なわれており、水平成分を記録し、波形の解析に用いている。時刻は北京中央放送局の時報により較正している。なお、これらの常時観測点は1966年邢台地震の後に8地点設けられたのが最初である。このほか、野外での臨時観測も行なわれている。全般に測器は古く、ダイナミックレンジが狭いので、新しい型の測器を試作している。このような測器及び測定システムの試作・開発は第6の研究室で行なっている。同研究室では現在データのデジタル伝送や深層観測を目標に観測井用地震計の開発を行なっている。中国では観測井による地震や傾斜などの観測はこれまでに行なわれていない。このほか移動観測用機器の開発や地震基准台のものを含めた観測器材の標準化などもこの研究室で行なっている。

第5の研究室では地磁気・地電流による地震予知の研究が進められている。首都圏については上記10万km²の範囲に地磁気観測網を設け、7常時観測点(将来は16点)からテレメータにより、地震と続きの建物内で連続観測を行なっている。観測点を図3.1.2に示す(配線図を撮った写真不良のため1点不明、石家庄付近?)。測器はプロトン磁気計で、その全磁力を1分毎にデジタル伝送し、データ処理は人手で行なっている。なお、上記地域内の116観測点で月に一回、同時観測を行なっている。今後、圧力による磁気変化の研究や、観測データを磁気テープに記録して電算機で処理することなどが考えられている。

以上のか、地球物理研究所の第2の研究室：全国の地震活動や歴史地震の研究、第3の研究室：震源物理の研究、第8の研究室：人工・自然地震による地下構造の調査研究等、で各々の研究室で行なわれている研究の中に首都圏に関するものもある(なお、第7の研究室は外国の科学技術情報の収集である)。また、国家地震局の地質研究所(地震に関係のある部門が1978年初めに中国科学院地質研究所から組織上分離、建物は同居)，同じく地震地質大队(地殻応力の野外測定)や、測量大队(天津市)の業務の中にも首都圏の地震予知事業に関するものがある。

ほとんどの省に地震基准台が設けられている。北京市のそれは北京市北西約30kmの所にあり、白家疃地震基准台という。中国科学院地球物理研究所の施設として1953年に建設に着手、55年から観測を始めた。現在は国家地震局地球物理研究所の指導下にある。総人員は34名、その中26名が技術系である。地震と地磁気の観測が主体で、近年ラドンの観測も行なっている。

地震についての業務としては、発震時刻・規模・震源等を素早く決めて上部に報告すること、観測月報の作成のか地震活動についての分析を多少行なっている。地震観測室は地下

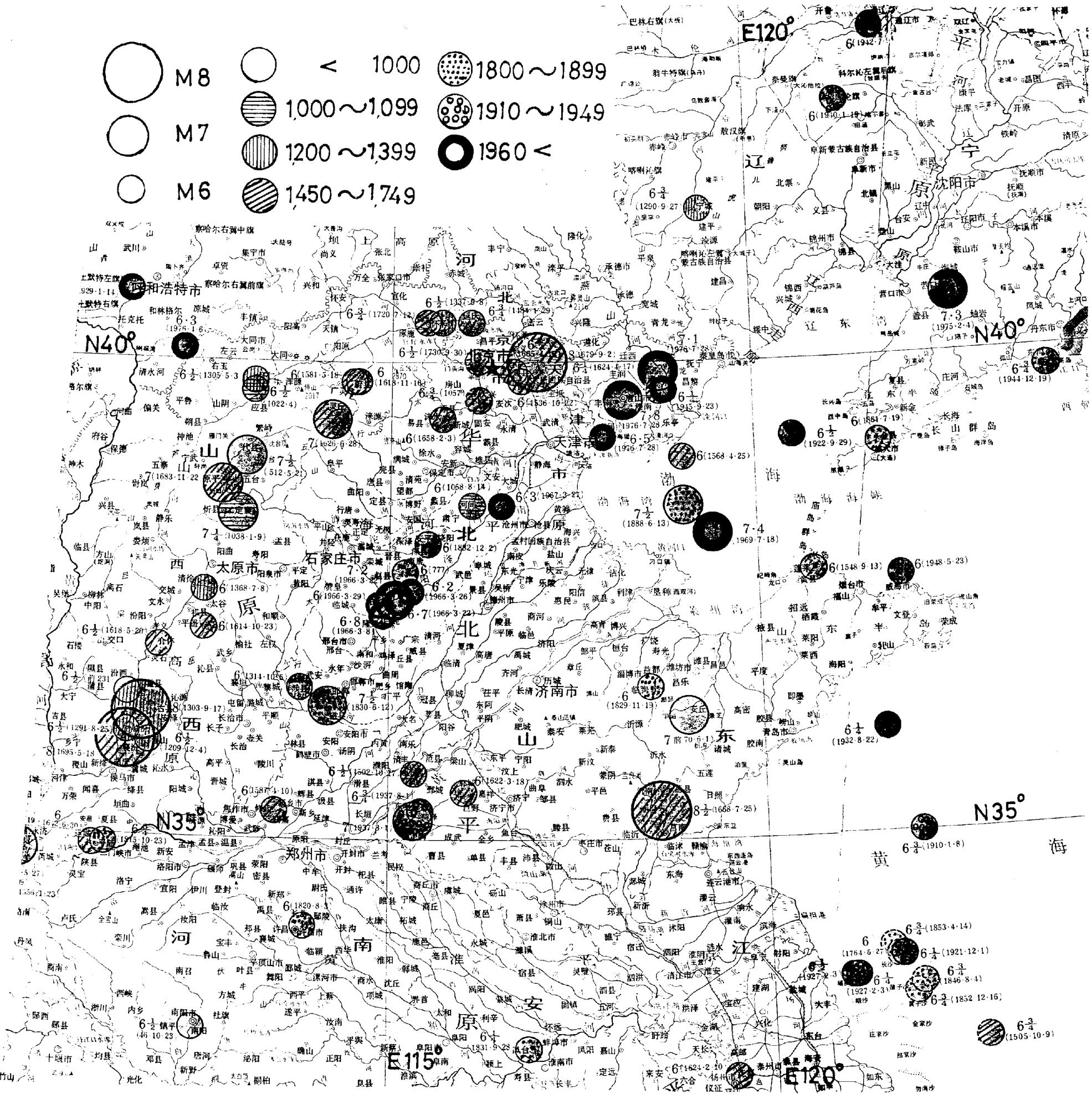


図 3.1.1 华北地区强震分布図（中国强地震震中分布図より）

無符号：1000年以前

（符号は筆者）

横線：1000年代

縦線：1200～1300年代

斜線：1400～1700年代

点印：1800年代

丸印：1910～1940年代

太丸：1960年以後

中国の地震予知の現状

7 mに設けられているが、建設が解放後間もなく地質調査が十分なされなかつたため、基盤深度の推定をあやまり、基盤は地表から約60 mも下であった。観測は地下観測室内で、玉石層上に設けられたコンクリート台上で行なわれている。微小地震の観測はD1式地震計（固有周期1Hz）3成分の出力を増幅し、固有周期20Hzのペンでドラムに記録している。ノイズレベルが高いので常時観測の倍率は3Hzで3万倍である。ただし、深夜（23h-0.5h）なら10万倍の観測も可能である。基准台の隣りに小規模な石灰石採掘所があり、日に2回発破が行なわれているが、ノイズ源としては、発破より自動車（トラック）の影響の方が大きいという。

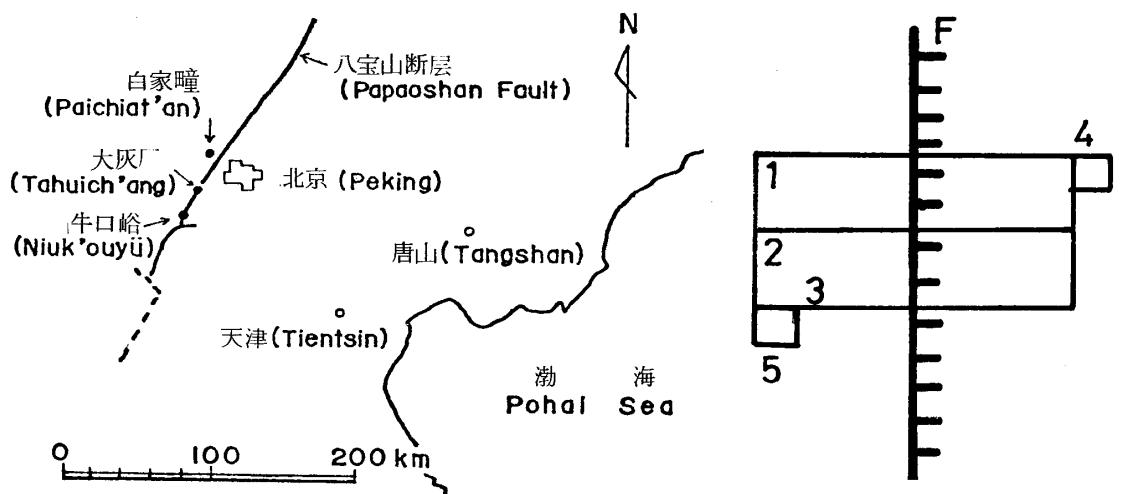
なお、観測倍率を高めるため深井戸観測を行ないたいとのことである。やや大きい地震については固有周期1.5Hzの62式地震計3成分で、固有周期0.4秒のガルバによりドラムに記録させている。なお、テレメーター用にも62式地震計を用いている。中周期地震計としては固有周期15秒のものを用い、ペン書き（固有周期20秒）の記録を行なっている。

強震については上海製の3成分強震計（固有周期20Hz）でトリガー方式（トリガー・レベル 中国震度階6、記録おくれ0.05sec）によりフィルム記録（フィルム30~40gal/mm、記録幅120mm）している。このほか長周期地震計（固有周期30sec、ガルバー固有周期100secソ連製）も設置されている。傾斜計も4台設置されているが、観測は中止している。

地磁気の観測は場内のそのための施設で行なわれている。各種の測定器を備え、相対測定と絶対測定を行なっている。観測結果は地球物理研究所に送られ地震予知に役立てられ、また、各種測定器の比較なども行なわれており、磁気変化と地震との関係の分析も行なっている。10km位離れている北京の地下鉄によるノイズが、すでに観測に現われており、今後、直流電気鉄道の開発が進むと地震予知のための地磁気の観測に次第に困難性の増すことがうかがわれる。

ラドン観測は1975年から始められ、測定器は中国製のFD-105型とFD-125型である。採水井は深さ150mと120mの2井で採水層は116m位あり、日に2回観測している。現在のところ、データの蓄積段階で明確な前兆をまだ捕えたことはない。ただ、1975年12月から76年5月位の間は低い値を示していた。近くの学校などの測定にも協力している。

北京市には、市の革命委員会に管理されている地震隊があり、わが国でも知られている大灰厂地形变站（図3.1.3 a）はそのもとで運営されている。この観測所は北京市南西およそ20kmの郊外にあり、北京市街の西方を走る八宝山断層の変動を観測することを目的に1968年建設に着手し、69年から観測を始めた。所員は現在8人である。断層変動の観測所をここに設けたのは北京付近の過去の地震調査から八宝山断層が地震と関係のあることが解ったからである。八宝山断層は北東-南西の走向をもち、約45°東南に傾斜する逆断



a. 位置図(1977年地震学会訪中代表団報告集より)

図 3.1.3 大灰厂地形变站

b. 観測装置配置略図

1. 水准仪(儀)
 2. 水管傾斜計
 3. 石英管伸縮計
 - 4, 5. 傾斜計,
- F: 八宝山断層

層である。延長は約110kmあり、その北部は沖積層におおわれているが、その南部は地表に露出している。地質調査によると、近い時代にも活動したということであるが、その変動が地形的にはっきり見られる所はないようである。一般に中国の地震の前兆はわが国に比べると数100kmもの広い地域に、しかもかなり顕著に現われ、また、地震を発生させた断層は古い地質時代に形成されたものであるが、地震後の地形的変動、あるいはその累積である活断層地形は、この八宝山断層でも、松潘・平武地震でも、今回の旅行で見聞きした範囲では明確なものがなく、この点でも我が国と逆であるという印象を筆者はもった。この断層の破碎帶はもっとも広い所では幅300m位あるが、ここでは12mである。観測所付近ではその上盤はオルドビス紀の石灰層で、下盤は砂岩である。なお、観測所の隣では石灰石が大規模に採掘されていた。観測は主として深さ2.5m、長さ28mの半地下式の観測室で行なわれている(図3.1.3 b)。水准仪(水準儀)は断層の両側の上下変動を観測するためのもので、地表の建家の中に設けられている。その測定は、約2.5m離れた断層の両側に設けられた各2個の水準測定台上の標尺を、中央に設けられた測定台上の水準儀(Zeiss製)で測り、各々の標高を得るという方法で行なわれている。水管傾斜計、水晶管伸縮計とシリカ傾斜計は、半地下式観測室内に設けられており、前2者は長さ24mで断層を跨ぎ、水準儀測線と平行に、また、傾斜計は上・下両盤にそれぞれ設置されている。観測室内の気温の変化は日に0.2°C位、湿度は80%程度である。伸縮計は中国製で安定性が良いという。傾斜計は金属製の振子式で光学記録により1/100秒の感度を有するという。観測結果には降雨の影響が顕著に現われている。我が国にも紹介された唐山地震の前駆現象を示

中国の地震予知の現状

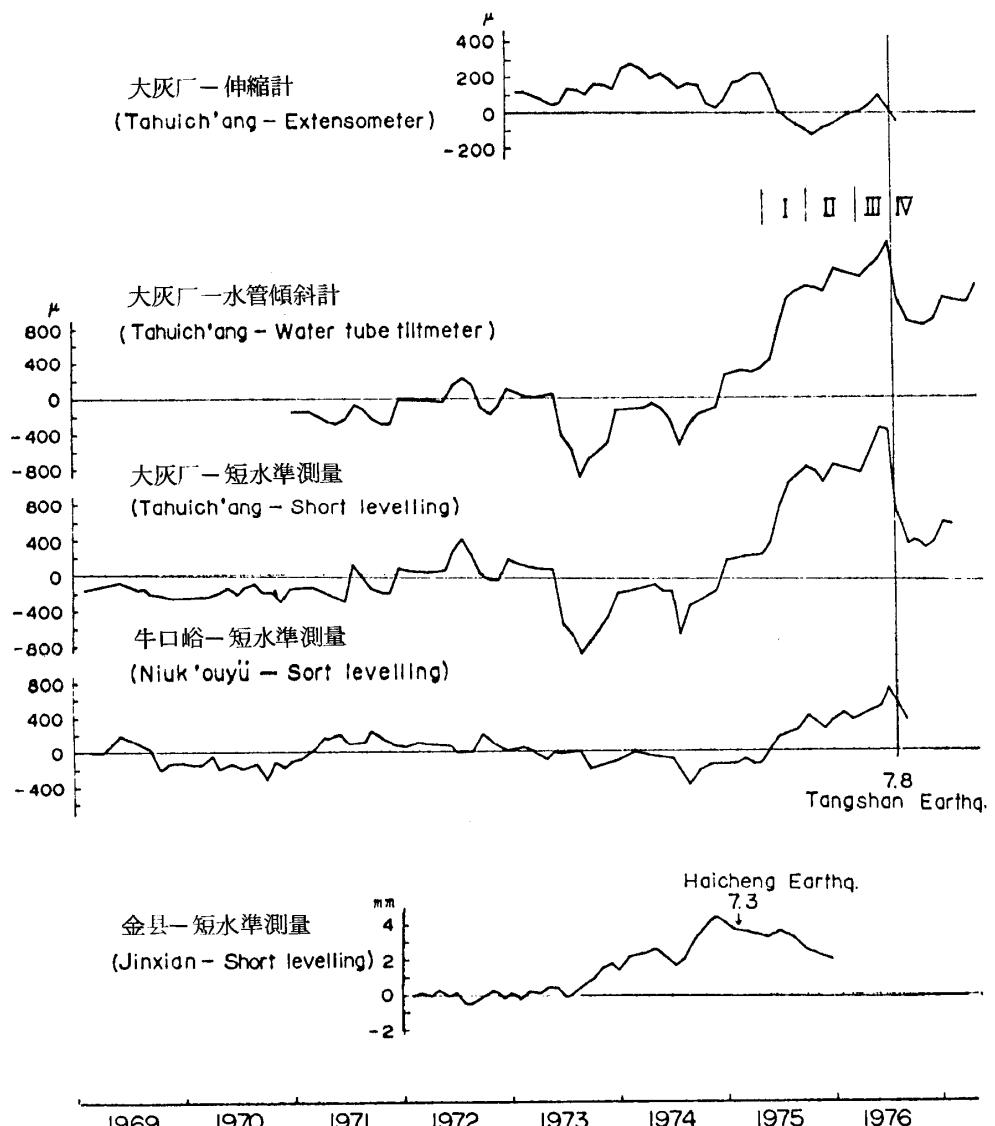


図 3.1.3 c. 地殻変動図 (aと同じより) I~IV異常変化の段階

しているという変動図(図3.1.3c)は、4時間毎の観測値から日平均値、更に月平均を出し、それから重ね合せて得た平均的な年平均値を引いて得た後の値の変動である。このようにして得たものであるが、1973年の大きな変動は主に降雨による変化である。唐山地震前の変動としては、1975年からの東側(上盤)の急激な上昇からと考えられている(唐山は東方約175km)。

八宝山断層における観測施設としては、大灰厂の南西25km位の所に牛口峪站があり、断層を跨いで同じような観測をしており、北東25km位の所に前述の白家疃基准台がある。河北省地震局は北京市南西約250kmの省都石家庄市にあり、近くに省地震局の地震基准台をもち、河北省全体の地震予知事業を担当している。地球物理研究所で京津唐張地区の

微小地震や地磁気の観測を行なっているが、唐山の地震予知事業は行政上は省地震局の責任範囲に属している。

以上の観測施設は自体の観測業務を行なうと共に、大众观测（群測）の指導も行ない、優良な大众观测点とはデータの常時交換を行なっている。

b) 唐山地震の前兆の概要

次に、我々にとって最も関心の深い唐山地震については今なお様々な角度からの解析が進められており、また、各事象毎の異常については、それぞれの項で述べられるので、ここでは各異常期の大筋についてだけ述べると共に、临震異常を認識できなかった理由につき中国側から受けた説明を記す。

i. 長期異常（長期異常）：数は少ないが地殻変動や微小地震活動、地下水などに長期的な異常が少しづつ、時期もずれながら現われてきた。たとえば、国家地震局測量大队による精密水準測量から1970～'54年の間に、唐山南方を通る北西－南東の線の北側が最大30mm上昇し、その南側は最大60mm沈降していること、更に1975～'70年の間に唐山南側の沈降が早まり、北側の上昇も続いていることが明らかとなった。また、山海关（関）－北京の間を1971年以来移動重力測量を繰返していたが、山海关－唐山間は北京に比べて $10 \mu g/y$ 、1973年には $40 \mu g$ の増加がみられた。1974年には地電流にも多少の変化が京津唐山地区の一部の観測点に現われた。1970年頃から华北における $M > 3.5$ の地震は陰（陰）山構造帯（北京北西方）とか河谷（北京南南西約200km）付近などに集中し、京津地区は空白域となっていた。b値の時空スキャニング法による調査によると、唐山地区ではb値は1971年下半から増加し、'73年後半から減少に転じ、'74年から目立って低い値を示すようになった。また、白家疃基准台（唐山は東南約200km）で観測された地震の初動分布は1956～'71年までは規則性が見られなかつたが、1971年頃より基准台の東西象限に発生する地震は引き、南北象限に発生するものは押しというようになり、東西方向の圧縮応力の増加が認められた。

ii. 中期異常：1975年5～9月から'76年4月、多数の観測点で多種目に異常が現われ、それらの異常は京津唐地区に集中した。すなわち、震央を中心に半径100km以内のラドン、地殻変動などの観測点の60%に異常が現われ、更に外側100kmの範囲の20%の観測点に異常がみられた。たとえば、大灰厂（廠）観測所の短水準は1975年5月頃から上盤（東側）が急に上昇し始め、水管傾斜計にもまったく同じ変動が見られた。この急上昇は'75年末頃には一応治まり、変動の第Ⅱ期に入った（図3.1.3c）。牛口峪の短水準にも同じような変化が観測された。津唐地区の地下水位は工業用水の大量汲上げによる影響が強く現われているが、その影響を除いても異常な変化が生じていたようである。しかし正確さに欠けるため、異常認定の根拠には用いなかった。ラドン濃度の変化が京津地区にみられた。天津と廊坊（安次、北京南東約50km）のラドン濃度に急変がみられた。

1976年4月頃、唐山、昌黎（唐山東約80km）などで比抵抗の低下がみられ、同時に唐山の地下水にも変化がみられた。地殻応力の測定にも同じ頃、急にノコギリの歯状の変動が現われるようになった。

地震活動も1975～’76年6月の間、山西省、河北平原、燕山には $M > 4$ 以上の地震はひとつも発生しなかった。

Ⅲ. 短期異常：1976年から7月上旬、多数の異常が広域に発生し、中強には見られなかった異常も現われた。4月頃、各地のラドン濃度に急な上昇あるいは下降などの変化が生じ、比抵抗にも、それまで変化のなかった所にまで変動や急変が現われた。大灰厂の短水准は再び東側の地盤が急上昇を初め（第Ⅲ期），’76年7月までには異常開始以来1.7mm変位し、過去6年間の6倍の変動を示した。水管傾斜計にも同じ変化が認められ、牛口峪などの地殻変動にも変化が認められた。群測点における土法による地電流・地殻応力の測定に4～5月頃より著しい変化が震央から300km以上も離れた広い範囲に現われた。地下水や地磁気にも新たな変化が認められた。

’76年4月6日、北京西方約350kmの和林格尔で $M 6.3$ の地震が起り、北京南方約130km、河間・滄县（滄縣）から50km北側の大城（滄東（東）断層上）や渤海南部の大原や廟島（廟島）群島付近でも地震が発生し、周辺の地震活動が活発化した。しかし、石家庄－黎县－张家口の範囲には $M > 4$ の地震は発生しなかった。唐山地区のb値はやや回復した。

Ⅳ. 臨震異常：1976年7月中旬から7月28日、急激に多数の異常が、最初は外側の地域に、次いで震央地域に現われた。すなわち、唐山から南西に600km以上も離れた鄭（鄭）州の地電流やラドン濃度に異常が現われるなど、7月14～20日の間、震央域から外側に異常が多く発生した。これらの異常は大灰厂の水管傾斜計や短水准の変動が上昇から急速な下降に激変したように（図3.1.3c）その変動は従来になく激しいもので、比抵抗や地殻応力、ラドン濃度などにも激変、あるいはスパイク状の変動が観測された。7月23～27になると異常は震央域に集中的に発生し、その多くが地震の1～2日前に集中した。たとえば、地下水の噴出、濁り、ガスの噴出などの75%が地震前1～2日前に発生している。特に宏观現象（マクロ現象）は震央域では、イ) 場所・時刻共に集中的に発生する、ロ) その発生の仕方が早い、ハ) 変動が激しいなどの特徴を示した。動物の異常は多種多様であり、震央域の直径100kmの範囲に現われた。また、地震は7月26日10時22分に $M 0.1, 0.7, 0.8$ の極微小地震が発生したが、大地震の前兆といえる明確な前震活動は松潘・平武地震の場合と同じように、まったくなかった。

Ⅴ. 長・中期予報は出せたが、短・震 常を十分認識できなかった理由は次のような事にあった。

イ) すべての観測に必ずしも異常が現われていない。たとえば、唐山市の自来水厂（給水

施設) のラドン観測や勝(勝) 利橋(橋) の比抵抗には異常が現れなかったように、震央区域でさえ、すべての観測点に異常が現われる訳ではなく、同一地域でも異常の観測できた所とできなかつた所があつた。

ロ) 华北地区は地震活動の高潮期に当り、強い地震が相連なつて発生している。このため、前兆が時間・空間的に重なつてゐる場所がある。

’75年2月海城地震、’76年4月和林格尔地震、’76年7月唐山地震と極く近くをみてみるだけでも M 6～7の強い地震が連続的に発生しており、強震の連発する場合の特性について解析し、本震後の影響と次の地震の前兆との区分ができるようになる必要がある。

ハ) 唐山地震については長・中・短・临震各期の区切りははっきりしているが、それぞれの観測点の観測結果に、この4段階のすべてが揃つて現われている所はない。その原因はわからない。

ニ) 前震がなかつた。(松潘平武地震では缺震を利用した、筆者)

しかし、临震異常が2～3日前に集中的に現われた。このような時、極く近い将来のことを、どのように予測するかは難かしい問題である。特に、地震発生直前に異常発生域がかえつて広まつたことは、理論的に説明も困難であるが、予測を一層困難にした。地震の現象は物理的にも化学的にも、マクロ的にもミクロ的にも複雑なものであるが、大地震は決して偶然には発生しないので、认识(認識)－実践(實践)－再认识の過程を繰返して、適確な予報のできるように進んでいきたい。

以上が主として河北省地震局胡長和氏から聞いた唐山地震の前兆の概要である。

3.2 地 震

高 橋 博

a) 华北地区的地震活動

京津唐張地区は、地質的には华北地塊 すなわち、北は阴(陰)山山脈、南は大別山・秦嶺(嶺)山脈、西は贺蘭(賀蘭)山・六盤(盤)山系に囲まれた東西約1500km、南北約1100kmの地塊の北部を占めている。この地域の地質構造は北東-南西走向のものが顕著で、これと交叉する断層もみとめられる。地震活動も北東-南西方向の配列が顕著で、これと交叉する方向の配列もみられる。これらの分布と地質構造の間には関連がみられ(図3.2.1)，特に大地震は大きな地質構造線の交点に発生している。

地震活動の特徴をみるとため、地震の発生状況を京津唐張地区を含む東経110°から124°北緯35°から43°の東西1200km、南北1000kmの範囲について、資料の極めてとぼしい10世紀以前を除き、時間的変化をみると、図3.2.2のようになる。この図は筆者が上記範囲に発生した $M > 6$ の地震を中国大地震簡目(1977)より選び、その放出エネルギーを1/4世紀ごとにまとめて示したものである。なお、図上部に規模別に地震の個数も記した。この図から、华北地域にはこの1000年間に地震活動に四つの高潮期(1000

中国の地震予知の現状

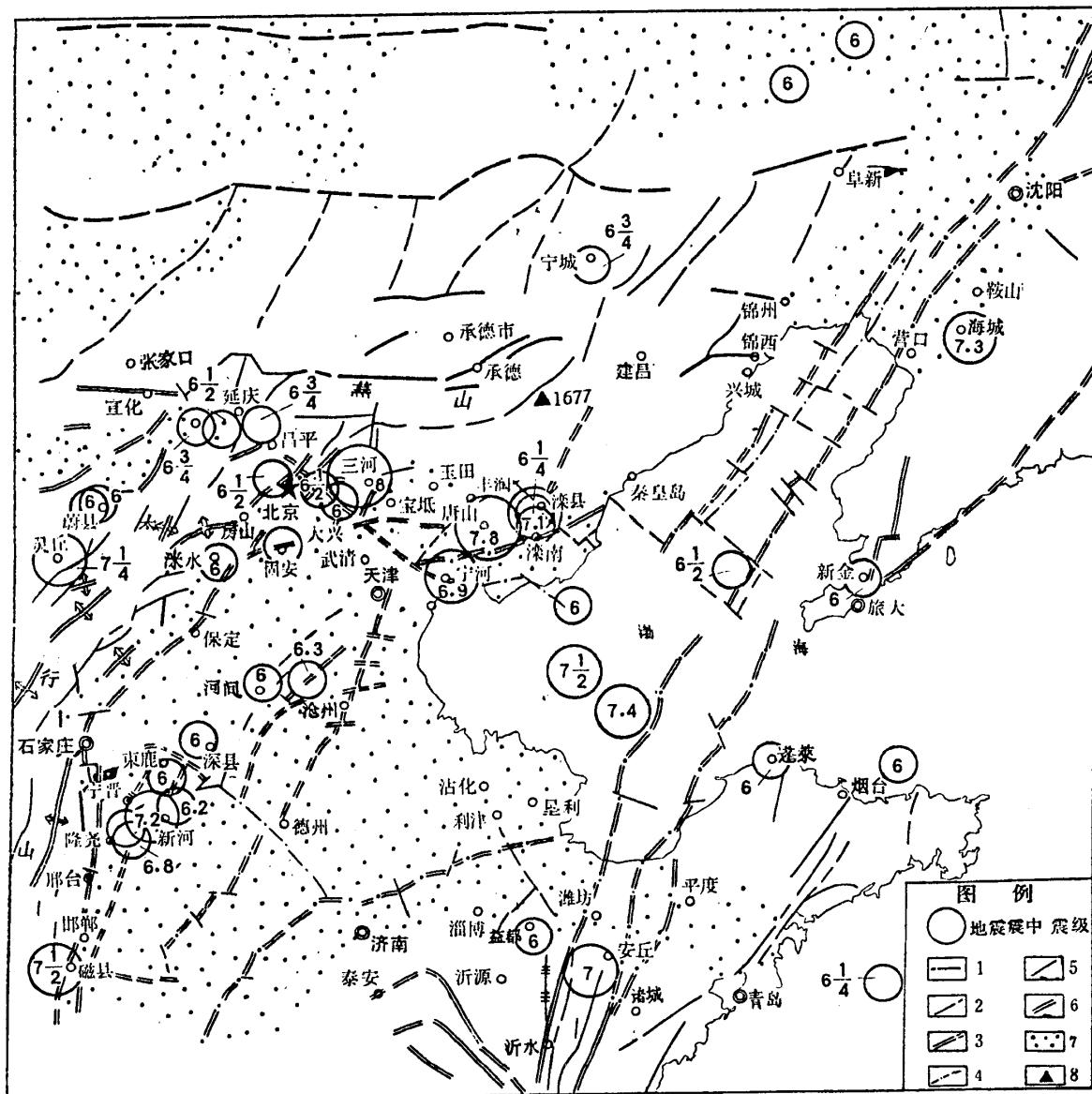


図 3.2.1 华北地区地質構造と地震の分布図（卢ほか, 1978）

- | | |
|---------------|--------------|
| 1. 主干(幹)断裂 | 2. 大断裂 |
| 3. 新生代以来活动的断裂 | 4. 隐(潜)伏断裂 |
| 5. 破碎带或挤(押)压带 | 6. 复式褶皱(複褶曲) |
| 7. 中新生代构造盆地 | 8. 山峰 |

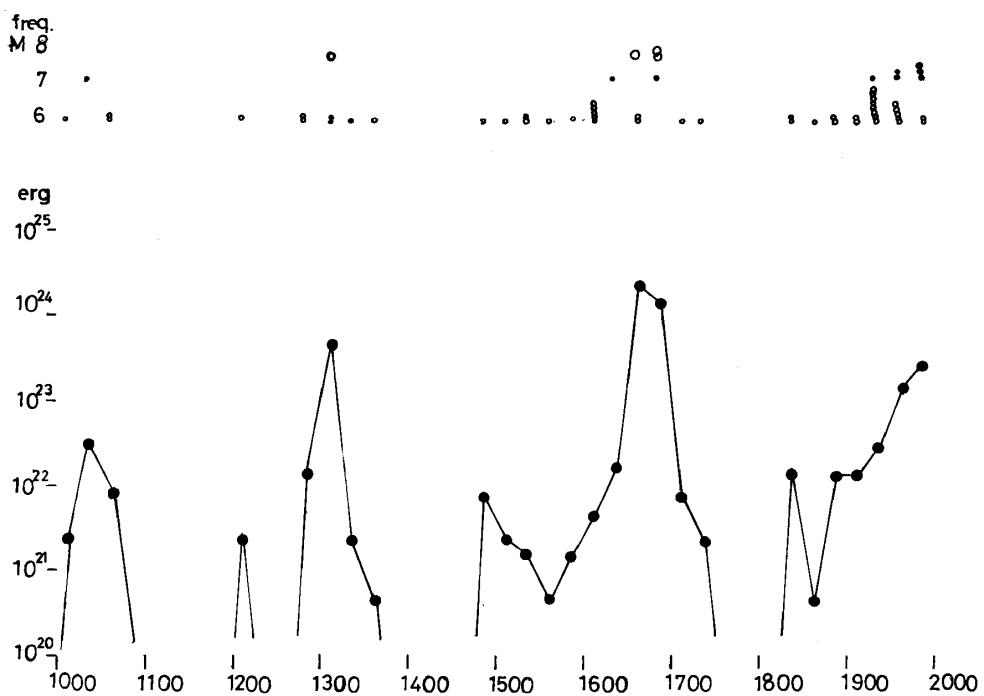


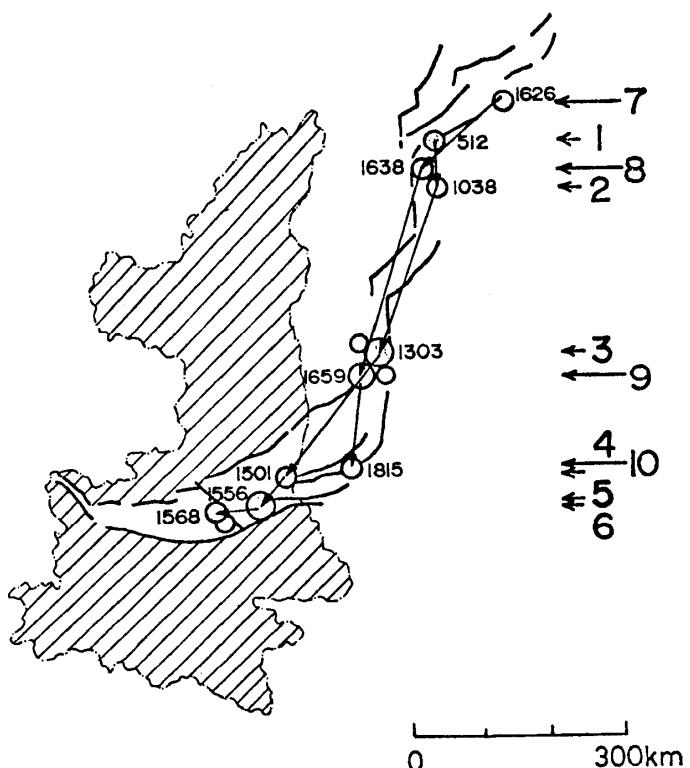
図 3.2.2 华北地区地震活動の推移状況図

年代, 1300年代, 1600年代, 1900年代)と, その間に100年程の著しい低潮期のあったことがわかる。1000年代の活動は山西省北部が中心で(図3.1.1), 1300年代の活動は山西省汾河流域洪洞付近でM 8の地震が発生(1303年), その前後にそこの近辺から北京付近, 辽寧省南西部にかけて地震が発生した。この両高潮期における地震の放出エネルギーの総和は, それぞれ 6×10^{22} , 6×10^{23} erg程度である。1600年代を中心とする地震活動の高潮期はM 8クラスの巨大地震が三つ(隣接域で更に华县地震)発生した最大級の活動期で, 活動期間も1400年代後期から1700年代前期に及び, その放出した総エネルギーは 5×10^{24} erg(渭河流域を含まず)で, この1000年間で最大のものであった。地震は河北省中心部を除くその周辺域, すなわち山东半島から张家口, 张家口から山西省の汾河沿い, 更に渭河とその東方N 35°線上で活潑であった。巨大地震は, 本調査域の西隣の渭河流域华县でM 8の地震が1556年に発生したのち, 1668年に山東省鄆城・莒县の地溝帯でM 8½, その11年後の1679年に北京東方50 kmあまりの三河・平谷でM 8, 更に16年後の1695年に汾河で同じくM 8の地震が続発している。これらの巨大地震続発後地震活動は急激に弱まった。

汾河・渭河沿いに発生する地震については, 山西省北部から次第に南西に転移することがすでに知られている(図3.2.3Ⅰ)。三河・平谷で発生した巨大地震についても, 山东半岛蓬萊付近の1548年の地震(図3.2.3Ⅱの4, 以下数字順)から1568年の渤海北西部, 1624年の深县(禪縣)付近の地震, 1665年通县の地震と順次北西に移動して本

震となり、更に余震がその西北西で1720年と30年に発生したとみることができる。これをもっと溯ってみると1337年怀来（図3.2.3 ii の1, 以下数字順）、1484年延庆、1536年香河と、最初は北西から南東に転移して、その後再び北西方向に方向を転じたとみることができる。

今世紀の高潮期は1800年代に始まり、活動が次第に高揚してきたが、その中に4つの高揚期がみられる。1800年代に地震は渤海から河北省中心部に、次いで河南省から黄海にかけて散発的に発生している。冬期の最大の地震は1830年に河北省南西端磁县付近で、1888年に渤海湾内で発生し、それぞれ規模は $M 7 \frac{1}{2}$ である。1910年以降、地震活動は広い地域に広がり、1600年代の高潮期の地震の活動線を越えて内蒙ゴから东北南部に及んでいる。1937年山東省南西端で $M 7$ の地震が発生しているが、この後は地震は山东半島—唐山を結ぶ線の北側の地域で起きている。なお、1830年以来 $M 7$ クラスの地震はほぼ50年の間隔で発生している。1940年代後半から20年近く目立った地震はなかったが、この高潮期初期の活動域の中心に当る河北省邢台市の北東約60kmの所で、1966年3月8日 $M 6.8$ の地震が、続いて3月22日 $M 6.7$ と7.2, 26日 $M 6.2$, 29日 $M 6$ と強震が続発し、前世紀に始まった本高潮期における最高の活動期に华北地区は突



| 汾河—渭河流域

図3.2.3 地震活動の転移（中国資料）

入した。この地震で住民に多大の損害が生じ、その結果、中国は地震予知事業に精力的に取りくむこととなった。邢台地震から1年後、震央域から約200km北東（河間付近）でM 6.3の地震が、更に2年後の1979年には渤海でM 7.4の地震が発生し、1975年の海城地震（M 7.3）へと地震活動は北東方向へ次々と転移していった（図3.2.3 ii, A'→B'→C→d）。

ところで、中国の地震関係者は1974年6月、国家地震局が招集した华北・渤海地域状況討論会で、渤海湾北部地区を重点地域とすると共に京津渤地区で数年以内にM 5~6の地震の発生する可能性があるという結論を得たという。海城地震後、京津地域の異常は回復しないばかりか、逆に発展する傾向がみられた。1668年郯城・莒县大地震（M 8½）

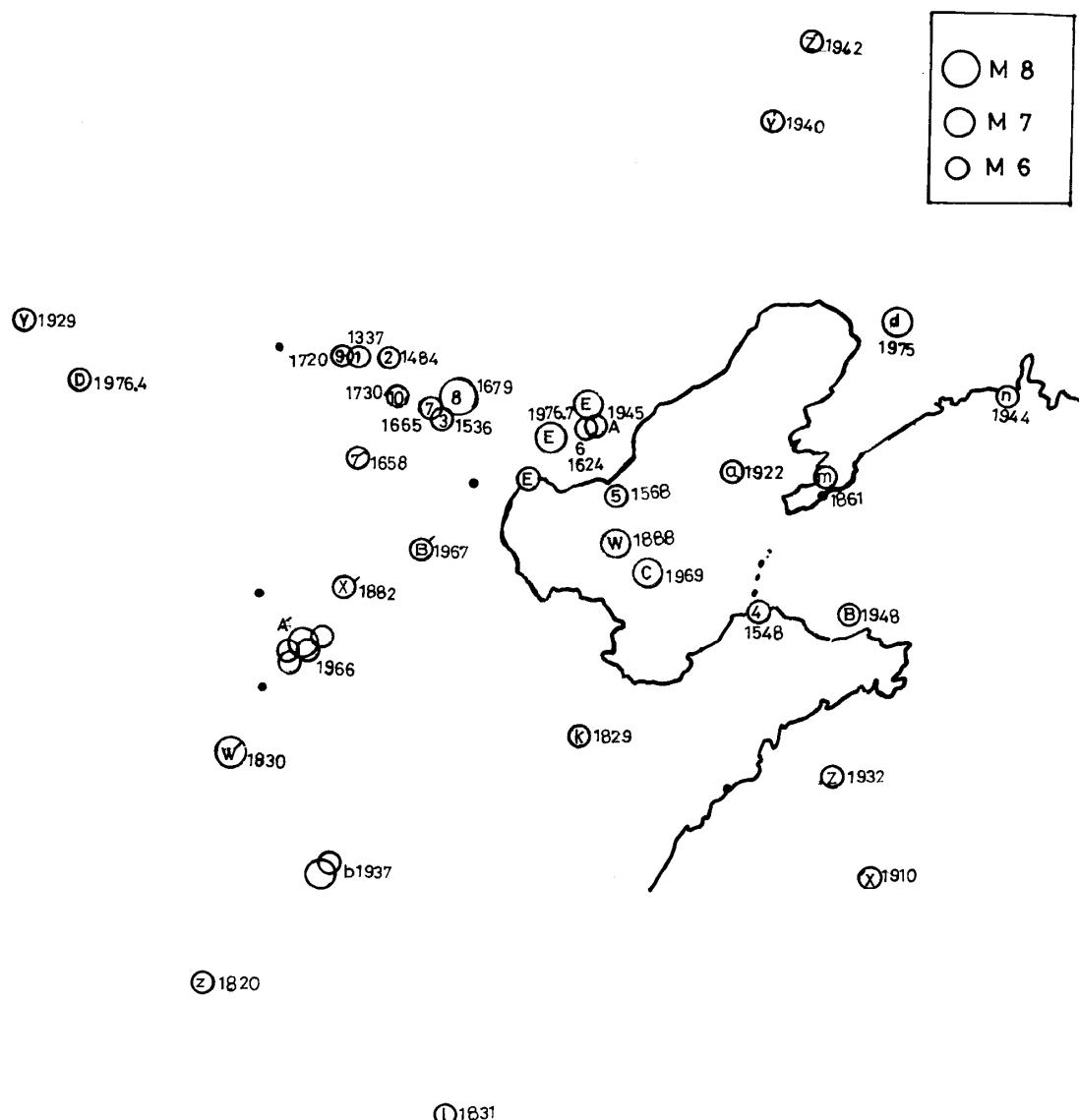


図3.2.3 ii 河北-山东-辽宁地域

の11年後、三河・平谷大地震（M8）の起きたことから、前者を発生させた郊城-廬江断層の西側の宁河唐山断層を含む地域に大地震が転移する可能性を彼らは考えたようである。前回の高潮期に山东半岛-张家口線上を地震が転移した場合のように、1945年昌黎付近でM6.1/4の地震の発生後、1948年山东半岛威海沖、'69年渤海にM7.4の地震が起きたこと（図3.2.3ⅡのA→B→C），あるいは邢台地震1年後に沧州構造線上約200km北東にM6.3の地震が生じ（同、A'→B'），唐山はその更に200km北東にあることから、この両方の地震活動線の交点に当る唐山に中国の地震予知専門家が注目したのは当然のことと思われる。1976年4月北京のはるか西方の和林格尔でM6.3の地震が起り、次いで7月28日に唐山地震となった。以上から唐山地震は北西-南東方向の活動線にそって（その初めと両端をどこにとるかの問題があるが）W→（X→）Y（→Z）→A→B→C→D→Eのように地震が転移していったとみられるが、同時にW'→X'→Z'→A→A'→B'→Eという北東→南西走向の構造線沿いの地震活動線との交点で、本高潮期最大の地震が発生したと見るのが良いように思える。事実、この北東-南西活動線（W'↔Z'）から放出された地震のエネルギーは 5.3×10^{23} エルグで、北西-南東活動線からのそれは 5.6×10^{23} エルグである。これらには唐山の地震（AとE）が含まれているので、それを2分すると、それぞれ 3.5×10^{23} エルグと 3.8×10^{23} エルグとなる。従って東西の圧縮応力場で発生した本高潮期の主たる破断面は、この北東-南西と北西-南西の構造線であるといえよう。北東-南西の構造線の東隣りの構造線上では、地震はz→a→b→C→dと発生し、その最大のものが渤海及び海城地震である。地震活動の程度や規模（放出エネルギー： 1.7×10^{23} エルグ）からみて、この構造線は副次的に活動したものと見ることができる。さらに東側の構造線は一層弱い刺激を受けたため、弱い地震活動（k→l→m→n、放出エネルギー： 1.1×10^{22} エルグ）が起ったとみることができる。なお、北西-南東の構造線上で本高潮に放出されたエネルギーは1600年代の活動（1→10）の際のそれ（ 6.6×10^{23} エルグ）にはほぼ近い（M7.1/2の地震1個分位の差があるが）。また、本高潮期で唐山地震までに放出された総エネルギーは 6.3×10^{23} ergで、もっとも活動の激しかった前回の高潮期には及ばないが、1300年代の高潮期の放出エネルギーと等しい。主たる2活動帯の交点でM=8の地震の発生したこと、地震の放出エネルギーも過去の高潮期に匹敵していることから、具体的な資料に欠くなかで早計な結論を出すべきではないが、今回の高潮期のピークは越したように思われる。

なお、図3.1.1をみてわかるように、今回の高潮期の地震活動は過去の空白域をうずめるように発生している。また、発生初期は散発的に発生しつつ、やがて主要な破断面に地震活動が集中し、その破断帶中でも端の方から順次発生することにより局部的に応力の集中している所を解放しつつ、最後にもっとも応力の集中している所に最大の地震の発生をみるという過程が本高潮期においてもみられたと思う。

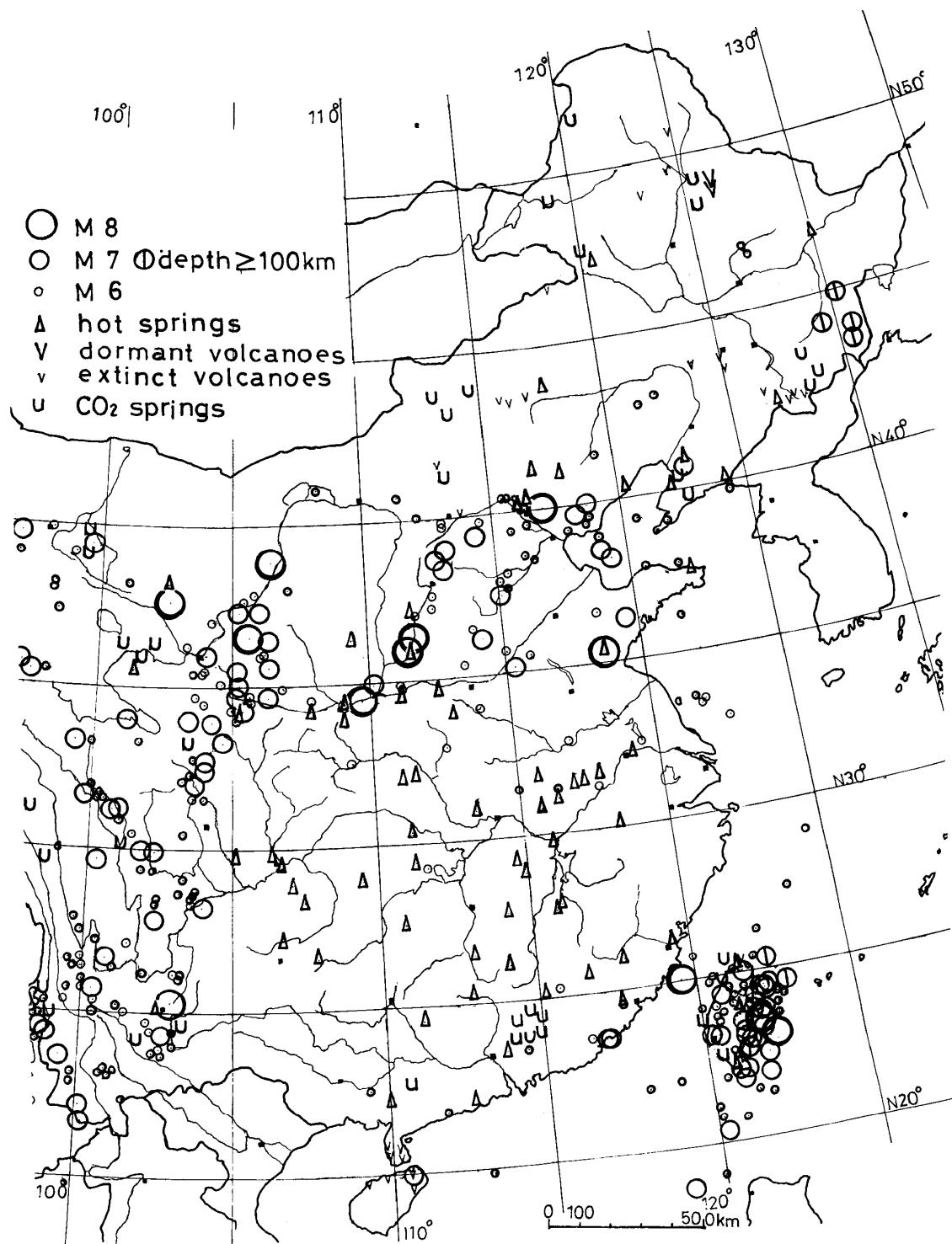


図3.2.4 中华大陸東部、地震・火山・温泉分布図

b) 地震活動と温泉分布

次に活動中の火山のないことから、不覚にも筆者は中国には温泉は無いものと思っていたところ、海城地震断層への旅行の際、鞍山革命委員会の好意により、湯崗子温泉に浴する機会を得た。そこで、沈阳から成都への飛行の際、出発前に東京で入手した中华人民共和国分省地图集より温泉を抽出し、地震活動と温泉分布の間に関連のあることがわかった（以下、弧状列島に属する台湾及びその近海を除いた地域について述べる）。

まず、歴史の長い中国において記録に残る噴火は1720～22年の東北地方北東部の2火山と1951年中国西端部の1火山にとどまる。また、第四紀または第三紀最末期以来の火山活動も、その噴出物のもっとも広く分布する東北と朝鮮の国境付近のほかは、内蒙古と東北の境、大同西方、南京近辺と南海島近辺に限られる（List of the World Active Volcanoes）。筆者は中国大陆東半分につき $M \geq 7$ の地震と $M 6$ 級の地震（の一部）及び炭酸泉（石、1979），温泉と火山（いずれも分布がわかる程度に略記）（中华人民共和国地图集より）を抽出した（図3.2.4）。この図を見ると幾つかの特徴がみられる。すなわち、地震活動の活発な所は华北地塊の $N 35^\circ$ から 40° の間の東西方向の帯状域とほぼ $E 100^\circ$ から 105° の間の北北東—南南西方向の帯状域に限られている。これに比べ、地震活動のまったく静かな华南地塊（長江以南）には各地に温泉がみられる。全体としてみると、华北—华南地塊においては、火山活動地域は南北両端に限られ、次に温泉活動地域がその内側に、地震活動域がその中央部（北に片寄っているが）という帯状分布が認められる。なお、华北の東西方向地震活動帶域の中では、地震活動の活潑な所にしばしば温泉が認められるが、 $E 100^\circ - 105^\circ$ の南北方向地震活動帶域では $N 35^\circ$ 線以北と、南部国境近辺の地域を除くと地震活動の活潑な所に温泉はみられない。

地震活動帶は、上述の如くカギ状の分布を示すが、その帶の中で地震の活潑な所は線状配列を示し、一般に北東—南西方向の配列が顕著で、北西—南東方向の配列もみられる。温泉の分布にも線状配列がみられ、やはり両方向の配列がみられる。前記の $l \leftrightarrow d$ の地震活動線では、その中及び南西延長線上に温泉が分布する。また、重庆（慶）付近は北西・南東方向に約200kmにわたり温泉が線状に分布しているが、その北西延長線上を涪江が流れ、その上流約400kmの所で松潘・平武地震が発生している。なお、この線の南西側約350kmには約600kmに及ぶ四川省の活潑な地震活動線が平行して分布している。このように、温泉が地震活動の線状配列の中及び、その延長線上に見られる場合もあるが、両者の配列及びその走向は全般的にはぴったりとは一致していない。

全体的にみると、東北から华南にかけての分帶構造のみられる地塊はフィリピン海プレートによる応力を受ける所で、地震活動の南北方向の活動帶のみられる所は、インド洋側からの応力を受けた地塊と前記の地塊の境をなす所にあたる。従って、地震と温泉の線状配列をなす所は多くはみかけ上のことでなく、構造線であると思われるが、その地殻活動上の性質

には相違があると思われると共に海溝からは遠く、かつ、この200万年以上にわたって火山活動はほとんどみられず、上述の火山活動域は局地点であり、かつ散発的なものであることから中华大陸の地殻内に活潑なマグマ活動があるとは思われない。温泉水はマグマ起源のものはほとんどなく、その主体は天水に起因する地下水が地殻中の割れ目や空隙を移動している間に熱と溶解成分を得たものであることから、中华大陸に見られる温泉は起源的には海洋プレートの横圧力により形成された地殻の割れ目（構造線）にそって地下深部を経てきた温かい地下水であろう。従って地震活動線、すなわち、活動中の断裂系中と、その延長線上に温泉のみられることは、その断裂系が地殻の応力解放の現状進んでいる所であり、温泉は、その応力解放すなわち、地震発生をしやすくすることに役立っているとみられる。温泉がみられても地震の発生しない所は断層の変動が連続的に行なわれている所か応力解放の終った所と考えられる。そのことは、個々の断裂系だけでなく地域的にもいえることであろう。前述の地震活動帯の外側、特に温泉のみ見られ、地震活動のない南地塊は先史時代（恐らく最新の地質時代）に破壊が終り、現在は台湾近辺に応力が集中しているのでなかろうか。そうであれば、断裂系形成時期がややずれているため、温泉のみの線状配列が地震の活動線と配列方向がぴったり一致していなくてもおかしくない。

c) 唐山地震

唐山は、新生代に形成された开（開）平构造盆地内にあり、この盆地は今日なお沈降を続けている。しかし、盆地を画する断層の第四紀の基底における変動量がわかっていないため、第四紀における活動状態はわかっていない。また、大地震の発生も唐山では歴史上知られていない。

唐山地震は1976年8月28日03時42分53.8秒に深さ15km位の所で発生し、規模はM7.8である。続いて07時17分28.9秒にはM6.5の強余震が宁河付近に、18時45分31.0秒にはM7.1の強余震が滦县付近で発生している。その震度分布は図3.2.5に示す通りである。震度は中国の震度階で、改正メルカリ震度階と似ている。震動のもっとも激しかった震度IXの地域は唐山市街をほぼ覆っており、同市は潰滅的な被害を蒙った。中国からもらった被害写真帳を見ると敗戦直後の東京のように市街地は瓦礫の原と化している。震源の直上と思われる唐山市内には、図3.2.5の鉄道線路に沿って約8kmの右横ズレ断層が生じた。その水平変動量は1.53m、垂直には西上り1mであった。震度分布図の震度VIIとVIIIの境の西側の線に沿って北東-南西方向の構造線があるという。地震の断层面の破壊はその中央で起こり、両方に伝播し、長さは100-130km位と地震観測の結果から推定されている。余震の大部分はコンラード面（深度20数km）より上で発生している。なお、中国の地震は20~30kmより浅い所で発生しており、その点では我が国での近畿・中国地方の地震活動と類似している面がある。

唐山付近には北東・南西走向の唐山断層と、その両端にこれとほぼ直角走向の滦县・东亭

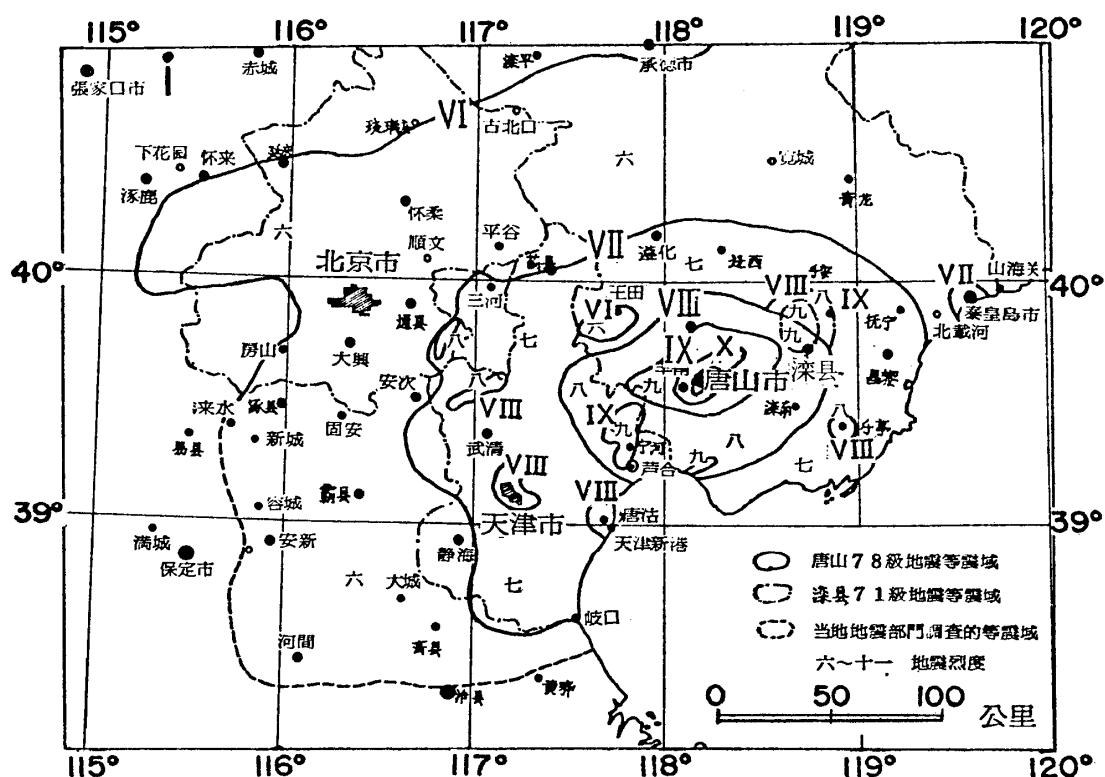
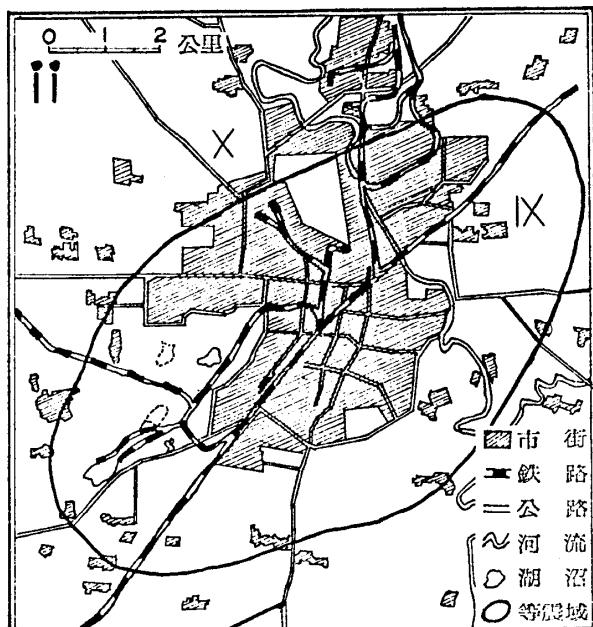


図 3.2.5 唐山地震震度分布図
(中国震度階, 中国資料)
I 京津唐張地区
II 唐山市

断層（北）と薊运河（遠）河断層（南）がある。主震が唐山断層の中部で発生したあと、 $M 6.5$ の地震がその南端付近で、 $M 7.1$ の地震がその北端付近で続いて発生し、更に3ヶ月後薊运河（遠）河断層上で $M 6.9$ の強震が発生している。この間これらより小さい地震がこれらの断層線上で多数発生している（図 3.2.6）。その発生の仕方についての岩石力学的研究による説明が試みられている（丁文鏡 1978）。すなわち、主震によって唐山断層には大きな破断面が生じ、余震が震央区でまず集中的に発生することにより、その場所の応力が著しく下り、岩体の剛性も低くなる。その結果、破断面の両端部に応力が加わり、剪断滑動が起りやすくなり、一方の端で強い強震が起こる。その強余震により、その近辺の地殻の応力は急激に低下し、その付近での強震活動は停止し、他端に跳躍的に強余震は転移する。こ



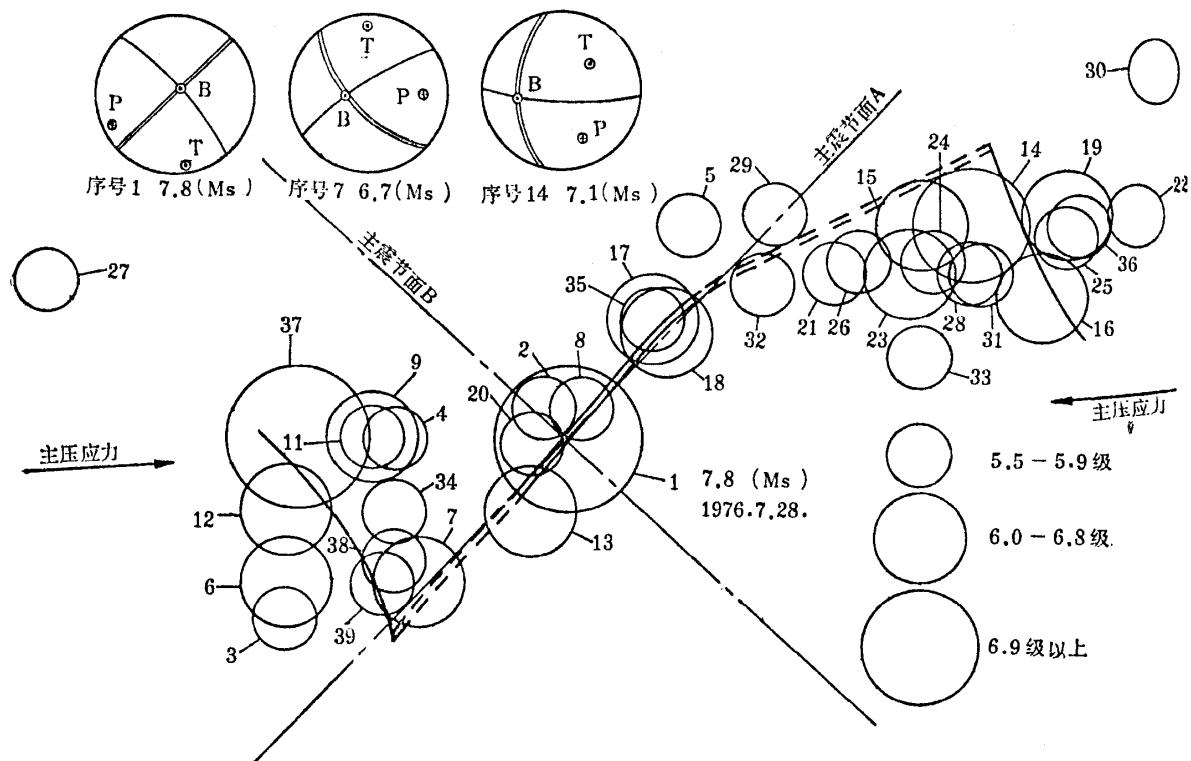


図 3.2.6 唐山地震の断裂系と余震分布
(丁文鏡, 1978)

のような過程が反復進行して、その断裂系両端の応力も充分低下し、強余震も起らなくなるというのである。

d) 地震活動空白域

地震活動空白域は長・中期前兆として重要であることから 北で発生した9個の大地震についての研究がある(魏ほか, 1978)。

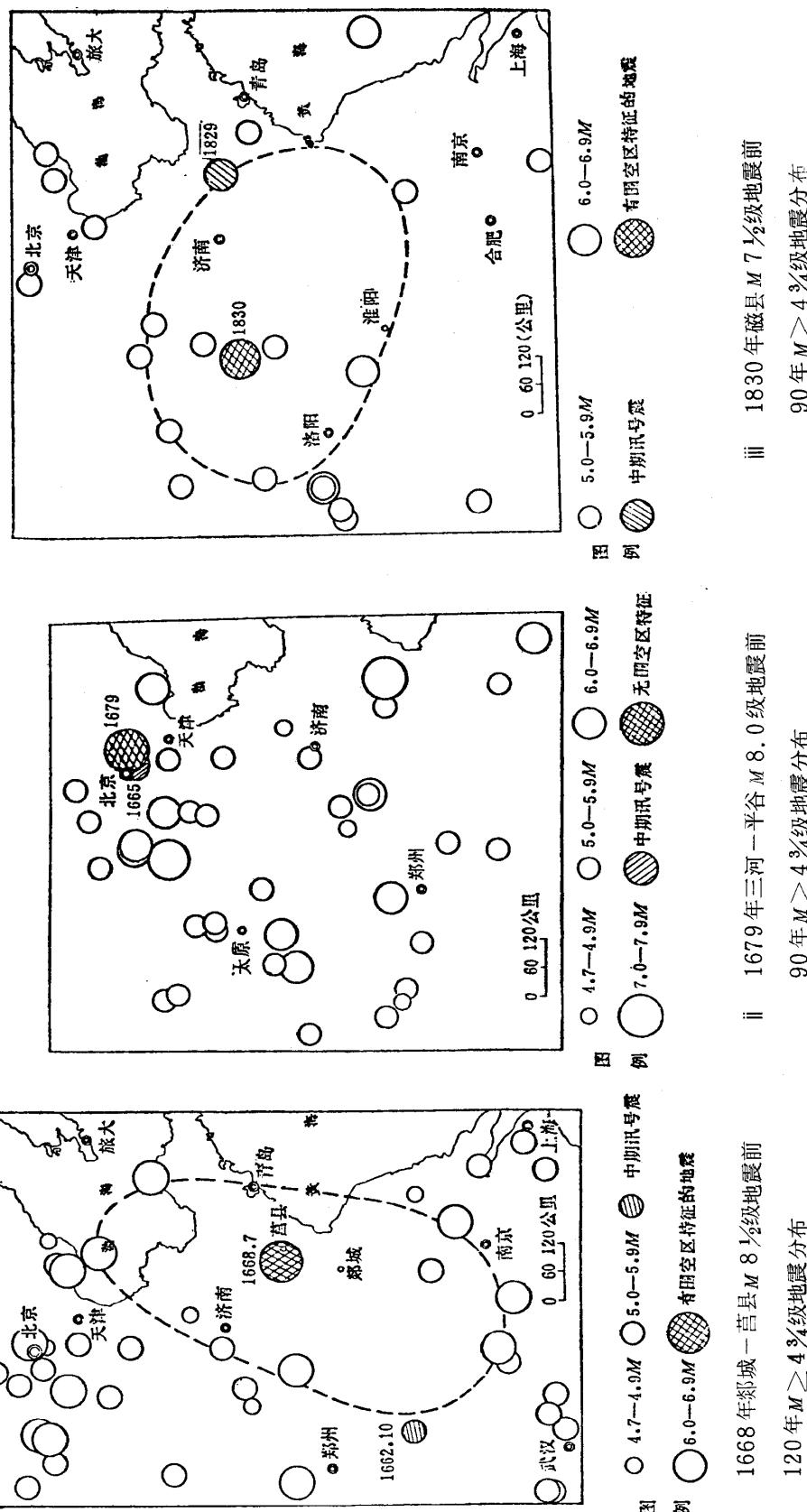
それらの中、6地震には小地震が周縁部に発生し、空白域の場所と輪郭とが明確に得られた。しかし、唐山と三河・平谷の地震は共にそのようになっていない(図3.2.7a)。これらの地震の規模 M と空白域の長軸の長さ L 、面積 S 、空白域形成から地震発生までの時間 T から次の経験式が得られた(図3.2.7b, ST を时空異常値と称する)。

$$M = 2.8 \log S - 7.18$$

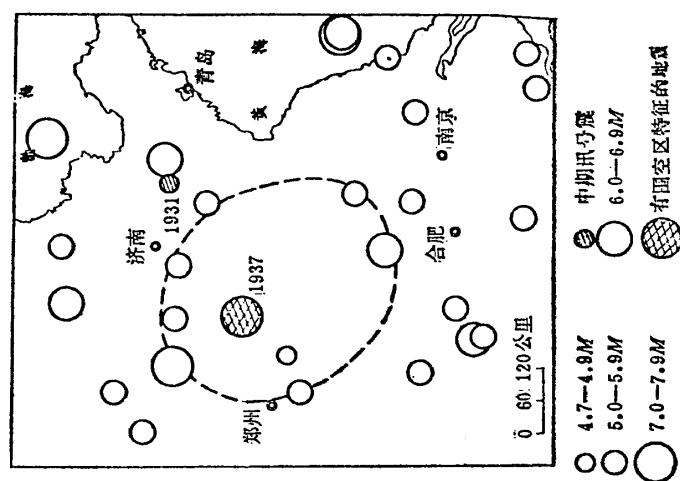
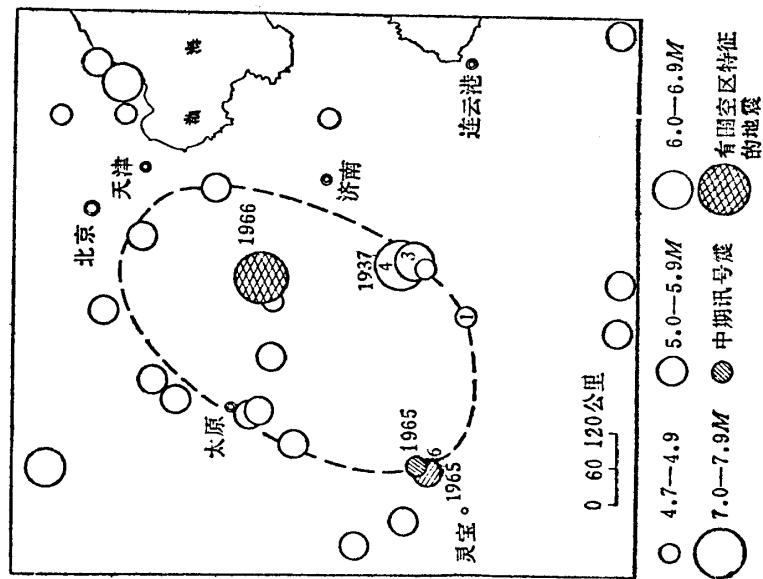
$$M = 5.88 \log L - 8.98$$

$$M = 1.84 \log (ST) - 3.78$$

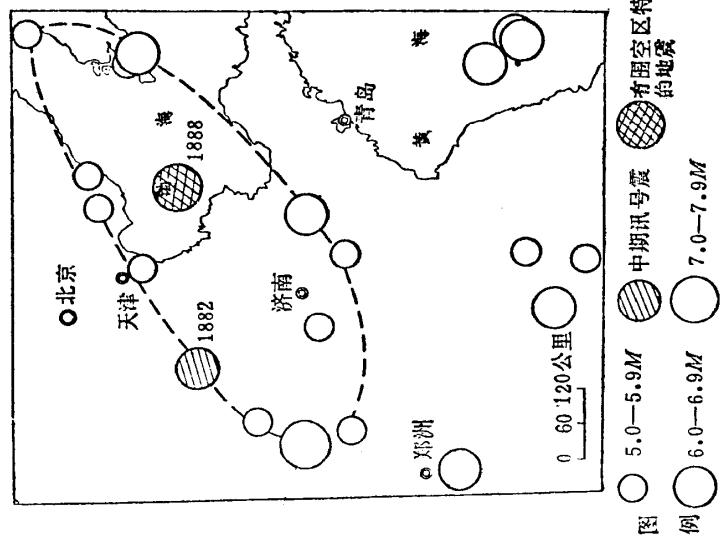
中国の地震予知の現状



a. 実例： 华北地区大地震前の地震空白域(馬ら, 1978) 図3.2.7



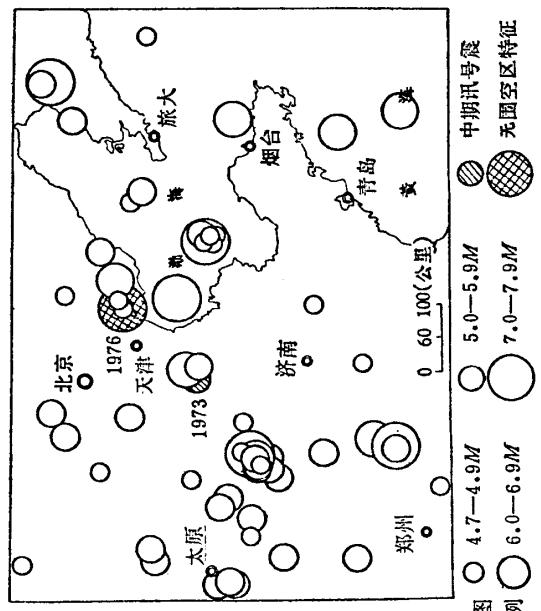
1937年何译 $M \geq 7.0$ 级地震前
108年 $M \geq 4\frac{3}{4}$ 级地震分布



IV 1888 年渤海 M 7 $\frac{1}{2}$ 级地震前
80 年 $M \geq 4 \frac{3}{4}$ 级地震分布

图 3.2.7

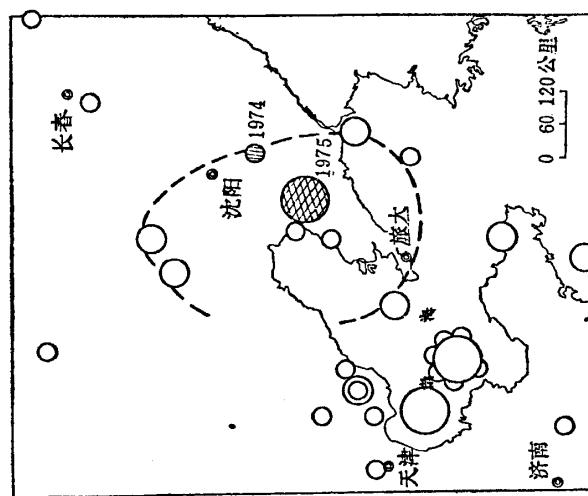
中国の地震予知の現状



図例
○ 4.7—4.9M ○ 6.0—6.9M ○ 5.0—5.9M ○ 7.0—7.9M
△ 中期讯号震
◎ 有空区特征
● 无空区震

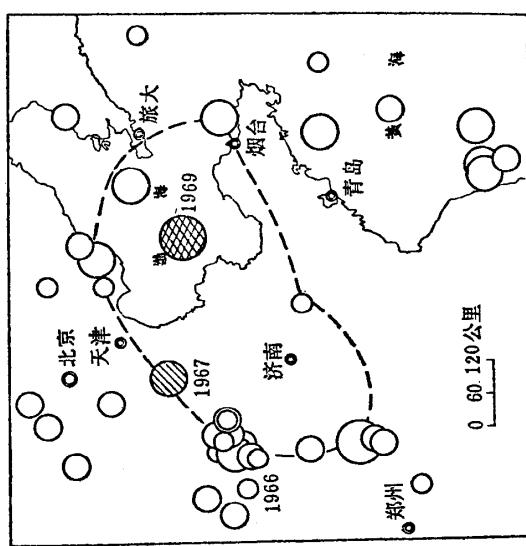
IX 1976年唐山 M 7.8級地震前
95年 $M \geq 4\frac{3}{4}$ 級地震分布

図 3.2.7



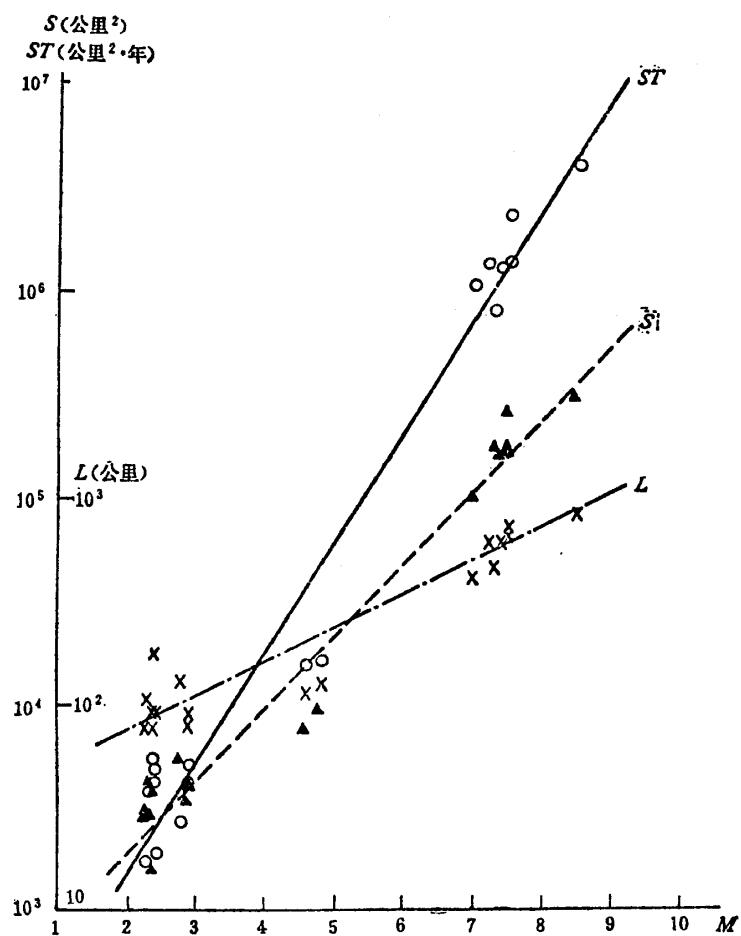
図例
○ 4.7—4.9M ○ 6.0—6.9M ○ 5.0—5.9M
△ 有空区特征
● 中期讯号震
◎ 无空区震

VIII 1975年海城 M 7.3級地震前
90年 $M \geq 4\frac{3}{4}$ 級地震分布



図例
○ 4.7—4.9M ○ 6.0—6.9M ○ 5.0—5.9M
△ 有空区特征
● 中期讯号震
◎ 无空区震

VII 1969年渤海 M 7.4級地震前
80年 $M \geq 4\frac{3}{4}$ 級地震分布



b 空白域の長軸 L (km), 同面積 S と空白域形成時間 T の積 (ST km² · y) と地震の規模 M との関係

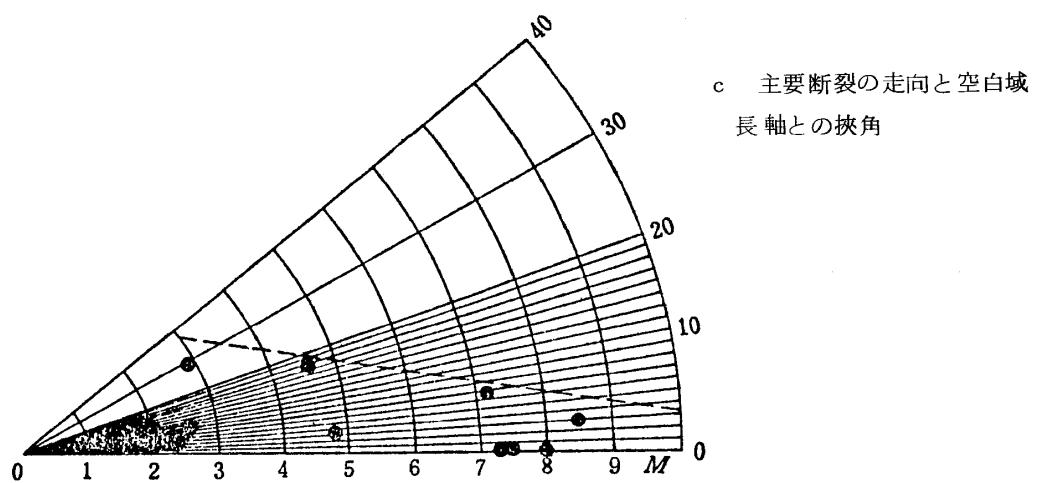


図 3.2.7

中国の地震予知の現状

また、空白域と主要断裂の走向と挟角 α の（図3.2.7c）関係は、 $\alpha < 30^\circ$ で、ほとんどが 10° 以内であり、大地震の場合は小さく、小地震の場合にやや大きい傾向が得られている。

唐山と三河・平谷の2大地震において共に空白域に明白な輪郭が現れなかつたことは注目すべき事と筆者（高橋）は考える。唐山地震の前兆が広まつたり縮まつたり、あるいは、同一地域でも現われたり、現われなかつたり、又長期から临震に至るすべての段階が現われた観測点のこと等、その把握に非常に苦慮した事とこの事は関連があると思う。この2大地震は共に华北の大構造線の交点で発生しており、この近辺では先史時代から大地震が繰返し発生し、地殻の破碎がある程度進んでいるのでなかろうか。そのため、応力の局所的集中が所々で生じ前兆現象が明確な形で進行的に現われなかつたり、空白域の輪郭についても明確となるように小地震が発生しなかつたのではなかろうか。もし、そうであるとすると唐山と共に北京の大地震もその前兆は大変捕えにくい形で発生するものと覚悟しなければならないと思う。

e) b 値の異常変化

最近の华北地区の大地震の前における b 値の変化が馬（1978）によつて調べられている。用いた地震は $M 7$ 級4地震と比較のための中地震2個である（表3.2.1）。 $M 7$ 級地震の発生順にその相互間の距離をみると邢台—渤海地震 388 km 、渤海—海城地震 402 km 、海城—唐山地震 418 km で、その平均距離は約 400 km である。

**表3.2.1 b 値の変化を調査した地震
(馬, 1978)**

日 期 年 月 日	震 级 (M_s)	震源深度 (公里)	地 区
1966 3. 22	7.2	9	河北邢台
1967 7. 28	5½	10	北京延庆县
1969 7. 18	7.4	35	渤海
1970 5. 25	4.2	15	河北丰南
1975 2. 4	7.3	12	辽宁海城
1976 7. 28	7.8	15	河北唐山

これらの地震の震源域を時間・空間的に分離して調べるため、唐山地震は震央を中心に半径 400 km 、他は半径 450 km の範囲内の $M 2.3$ 以上の地震により、1年の間隔で10日ずつ移動させて b 値の変化をみた。なお、2個の中地震については半径 150 km 内、 $M 1.0$ 以上の地震により1日の間隔で2日ずつ移動して b 値の変化をみた（図3.2.8）。

これら华北で発生した4大地震においては地震前、正常な b 値から次第に上昇し、更に急激な上昇をしてピークに達するという顕著な特徴がある。ただし、その後は地震によって異なった挙動を示す。すなわち唐山、海城、邢台地震の場合はピーク値に達した後下がって低い値を持続し、やや回復した所で本震が発生しているが、渤海地震ではピーク値から急激に下がった所で本震が発生している（表3.2.2）。中地震では延慶地震は前者の型、丰南地震は後者の型とそれぞれの型がみられるが、大地震の場合と比べると異常期間がいずれも短い。

更に、前震の空間分布に次のような特徴がみられる（図3.2.9）。

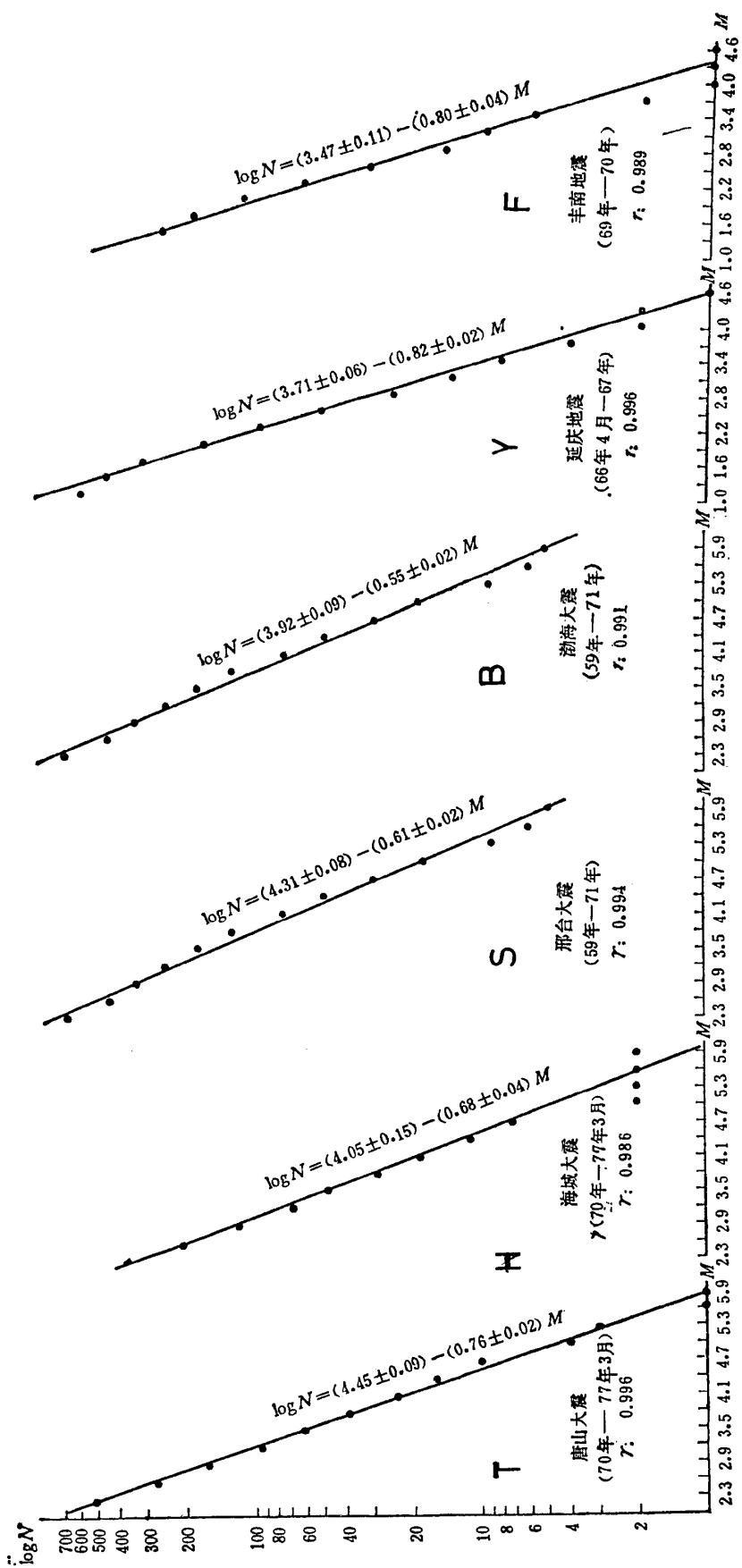


図 3.2.8 华北地区大地震前の b 値の異常変化(馬, 1978)

a. 前震の規模別発生状況

- | | |
|-------------------------|-------------------------|
| T : 唐山地震 ('70—'77. 3) | B : 渤海地震 ('59—'71) |
| H : 海城地震 ('70—'77. 3) | Y : 延慶地震 ('66. 4—'67) |
| S : 邢台地震 ('59—'71) | F : 丰南地震 ('69—'70) |

中国の地震予知の現状

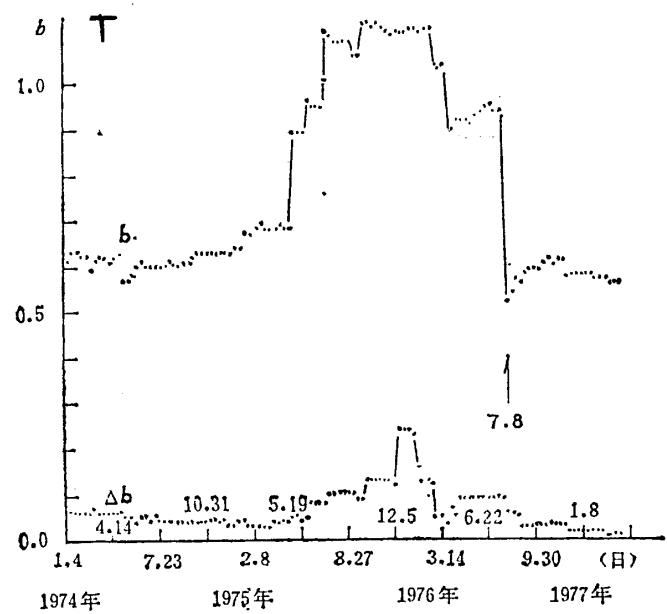
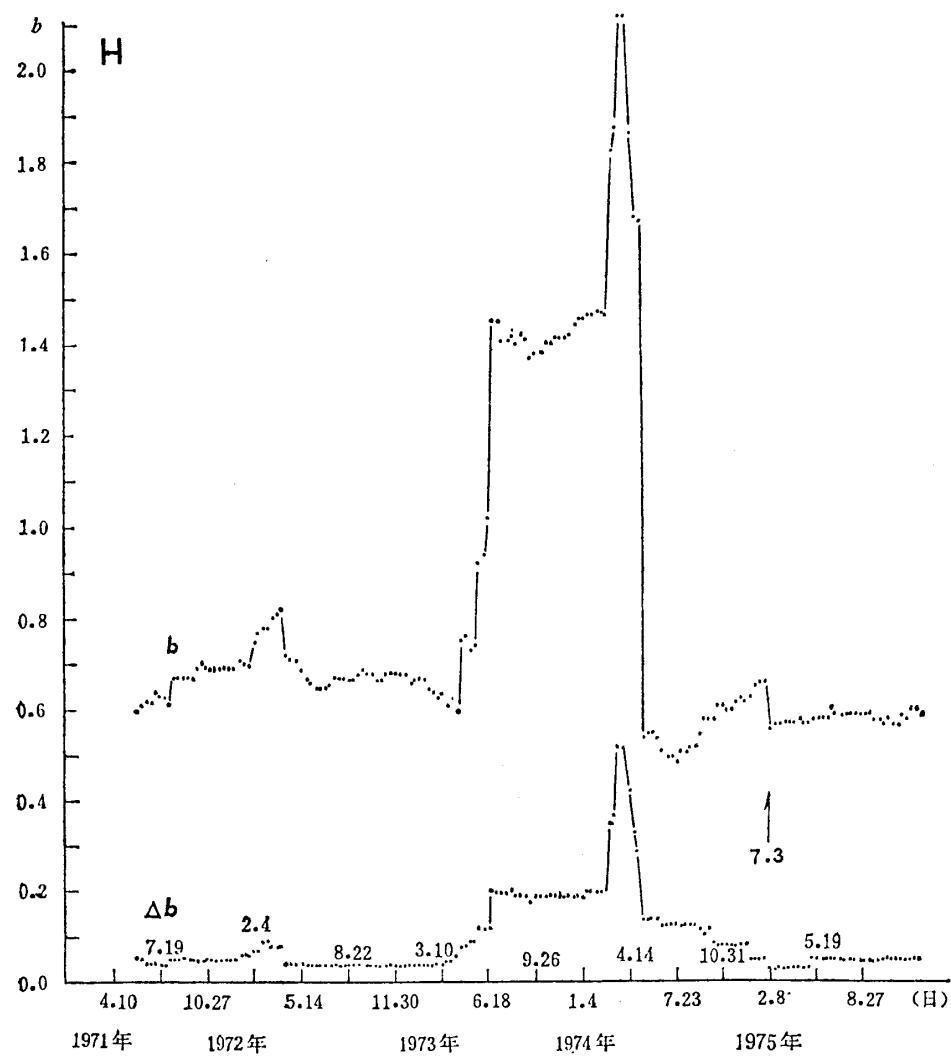


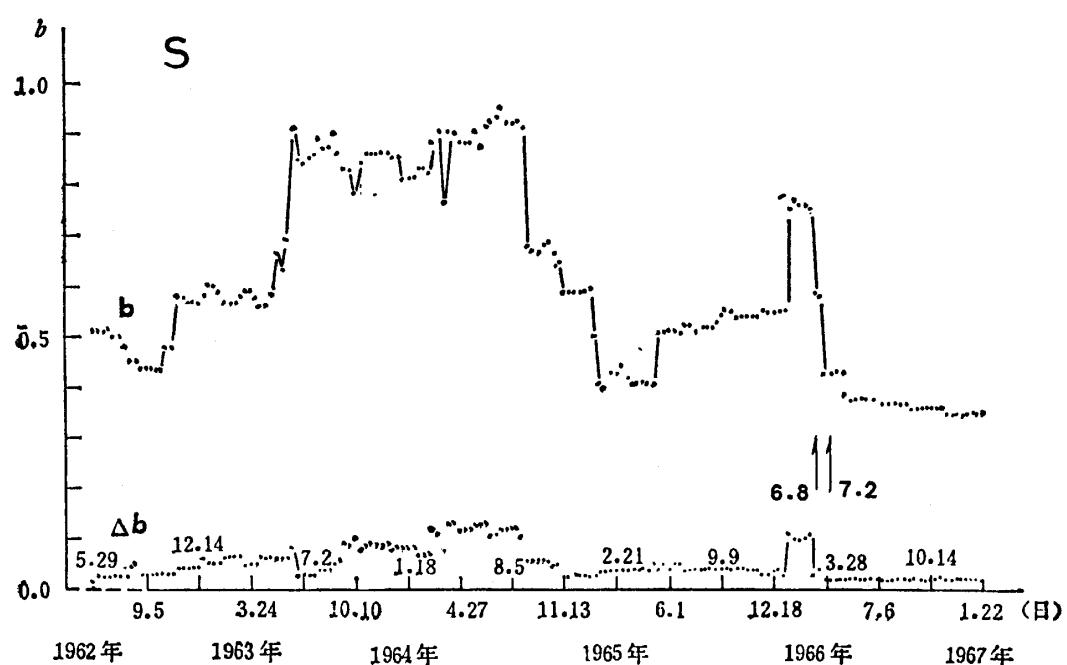
図 3.2.8

b. 地震前 b 値の変化

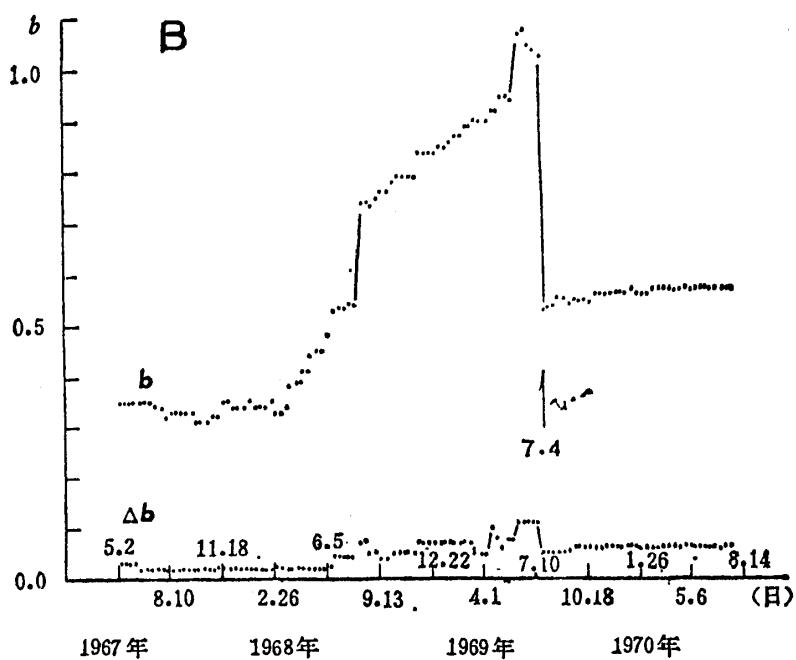
T : 唐山地震 (400 km以内)

H : 海城地震 (450 km以内)





S : 邢台地震 (同)



B : 渤海地震 (同)

中国の地震予知の現状

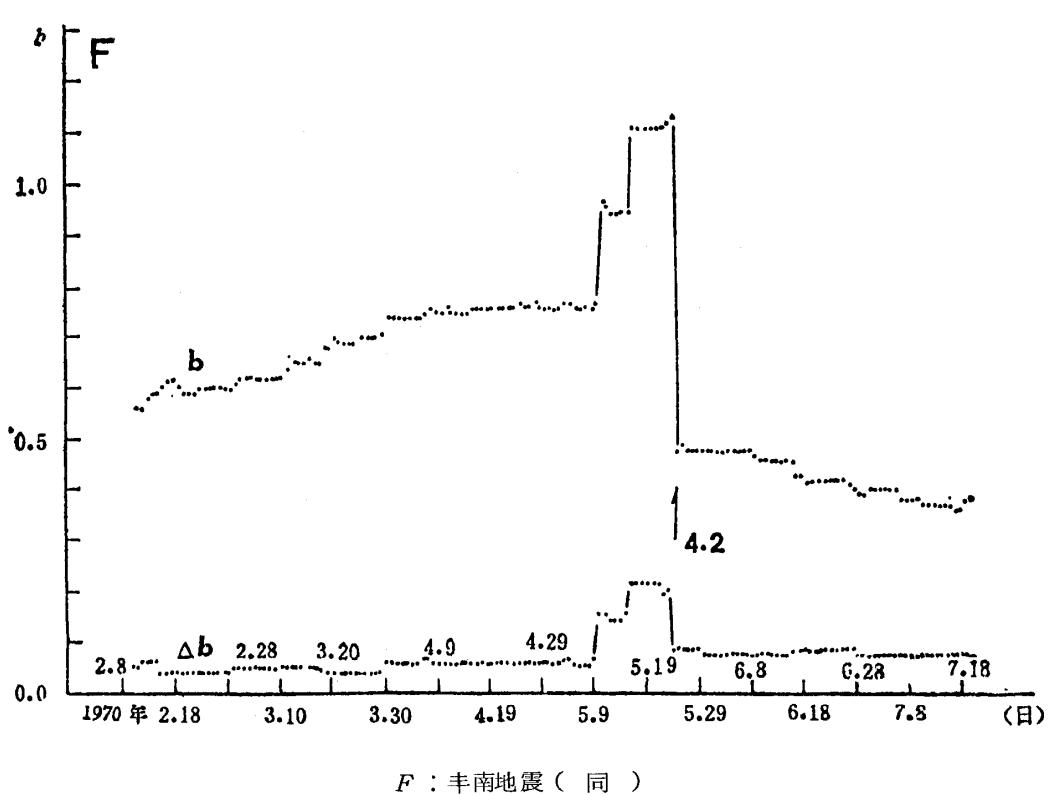
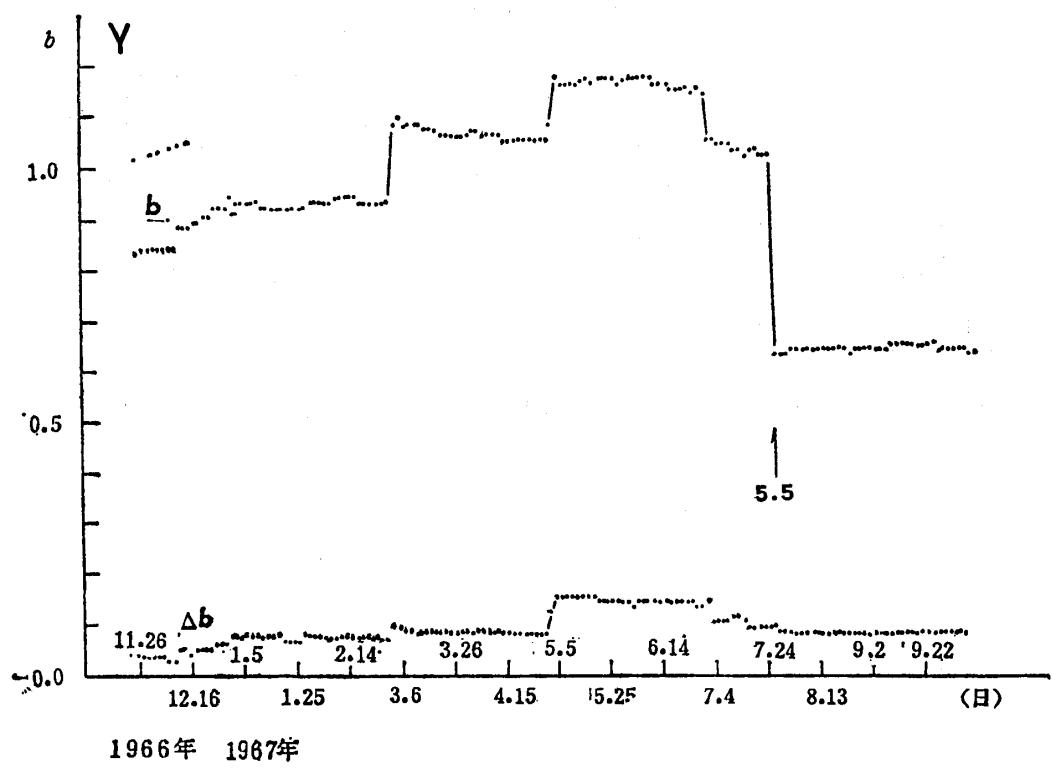


表 3.2.2 四大地震の b 値変化の基本特性(馬, 1978)

大震	区域范围 (半径)	初始 b 值	峰 值	峰值期时间	回降后 持续时间	总异常时间
唐 山	400公里	0.60±0.04	1.13±0.13	1年3个月	3个月	1年3个月
海 城	450公里	0.69±0.05	2.11±0.52	1年1个月	9个月	1年10个月
邢 台	450公里	0.51±0.02	0.95±0.12	1年8个月	1年2个月	2年10个月
渤 海	450公里	0.35±0.03	1.08±0.11	1年	无	1年

1. 長軸300km, 短軸200kmの範囲内(図3.2.9の破線小ダ円内)に地震活動の活潑な所が、あたかも一つの大地震の場合のようにまとまり、その範囲は余震域よりやや大きい。そして前震は主震の両側に分布し、次第に主震に向って発生する傾向があり、その傾向は唐山地震の場合、特に顕著である(図3.2.9には唐山地震につき時間順に番号を付してある)。

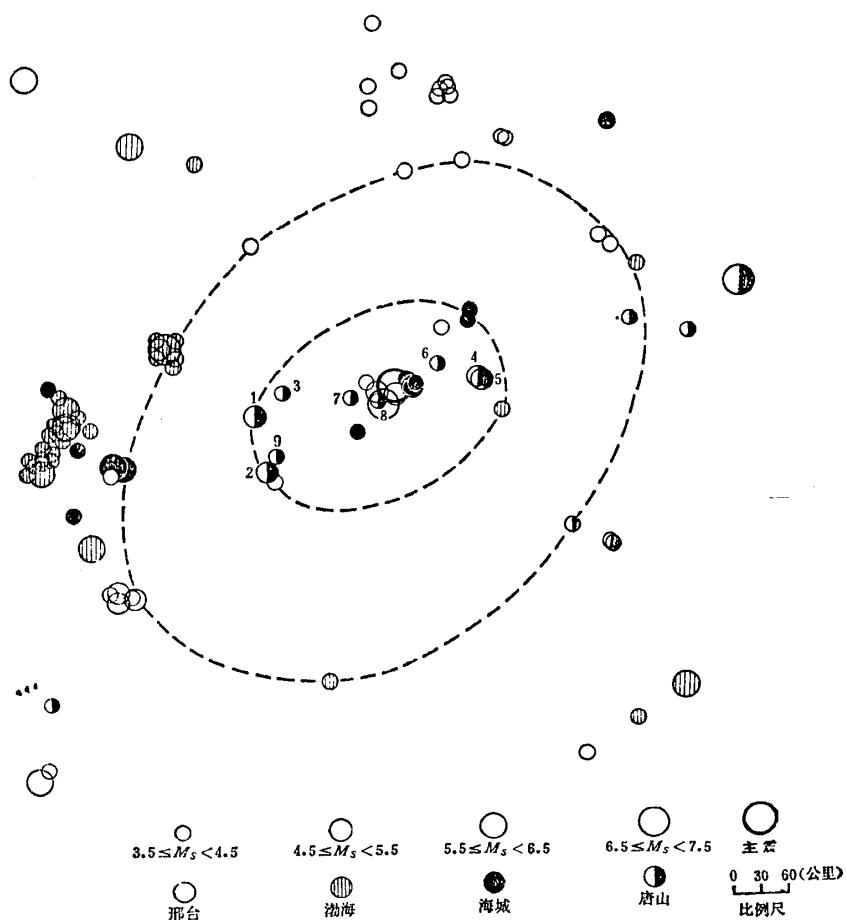


図 3.2.9 邢台, 渤海, 海城, 唐山地震の震央を重ね合せた場合の前震の分布
(前3年, $M \geq 3.5$) (馬, 1978)

2. 長軸 660 km, 短軸 480 km の範囲外（図 3.2.9 の破線大ダ円外）では、かなり広範囲にわたって地震活動が活発である。

3. 大・小のダ円にかこまれた幅 150 km 程の環状帶には $M \geq 3.5$ の前震が見られない。その面積は小ダ円の 4 倍である。

前震の、この空間分布特性と b 値の変化をみるために、唐山地震につきやや狭い半径 150 km の範囲を 5 年の間隔で 10 日ずつ移動させ、丰南地震については 70 km の範囲で 1 年の間隔で 10 日毎に移動させて b 値の変化を見ると（図 3.2.10），共にまず高い値を取ったのち、次第に下がってゆき、最低値に達し、やや回復した所で主震が発生している。異常値の期間は前者は 7 年以上、後者は 1 年である。このように広い範囲内で b 値の変化を見ると、ピークが明確に現われ、狭い範囲の場合には低い値が現われるというように、範囲の取り方により異常特性のパターンに変化が生ずる。

そこで、震央からの距離による b 値の変化を見るために、主震前月から大地震は前 3 年、中地震は前 1 年の地震につき、震央から大地震は幅 100 km、中地震は 60 km の間隔で、10 km ずつ外にずらせて得た b 値の変化は次のようである（図 3.2.11）。すなわち、唐山地震では震央から 180 km 以内は b 値が低く、180 – 330 km の間は高く、それ以遠は下がっている。他の 3 例でも震央付近は低 b 値で、邢台地震では 70 – 230 km の間が、延慶、丰南地震では 70 – 150 km の間が高 b 値を示している。以上から主震の震央付近は低 b 値が現われ、外側に高 b 値が現われ、主震の規模に応じてその低 b 地帯が大きくなり、高 b 値帯が遠のく。そして前震の空間分布の小ダ円内では地震活動が活発であるため b 値は低く、 $M 3.5$ 以上の地震の起こらない環状帶では、そのため高 b 値を示す。

f) b 値の时空扫描（スキャニング）

唐山地震に関する研究で注目に値するものの一つに、京津唐張地区における b 値の時間的空間的变化を捕えた b 値の“时空扫（掃）描”（スキャニング）の報告がある（李ら 1978）まず、この地区を図 3.2.12 a に示すように区分する。 T_0 は唐山地震で発生した 3 個の強震を含む約 1.7 万 km² の区域、 T_1 は津唐区域（4.5 万 km²）、 T_2 は T_1 から天津を中心とする三角形の区域を除いた区域、 T_3 は唐山を中心とする約 1 万 km² の区域、 T_5 は 2 番目の強震の発生した滦県区域（約 1 万 km²）、 T_6 は北京周辺の約 1.2 万 km² の区域である。これらの中、震央とその周辺を含む区域 ($T_1 > T_2 > T_0 > T_3 > T_5$) では、 T_0 区域で見られると同じ形態の b 値の時間的变化が認められた。すなわち、1966 年から ’71 年上半までの間は、この 10 年間の平均（0.8、図 3.2.12 b の横線）と変わなかったが、’74 年下半から b 値は急に上昇し、’73 年には最高値を示すに至った（異常第 1 段階）。その後 b 値は低下し、’75 年には最低に達し、1 年間位 0.5 前後の値を保持し続けた（異常第 2 段階）。’76 年初め b 値は回復を示し、やがて唐山地震が発生した（異常第 3 段階）。異常の程度は $T_5 > T_0 > T_3 > T_2 > T_1$ の順で、その最高値は T_5 で 1.5、最低値は T_5 で 0.4、 T_1 においては最高と最低値は平常

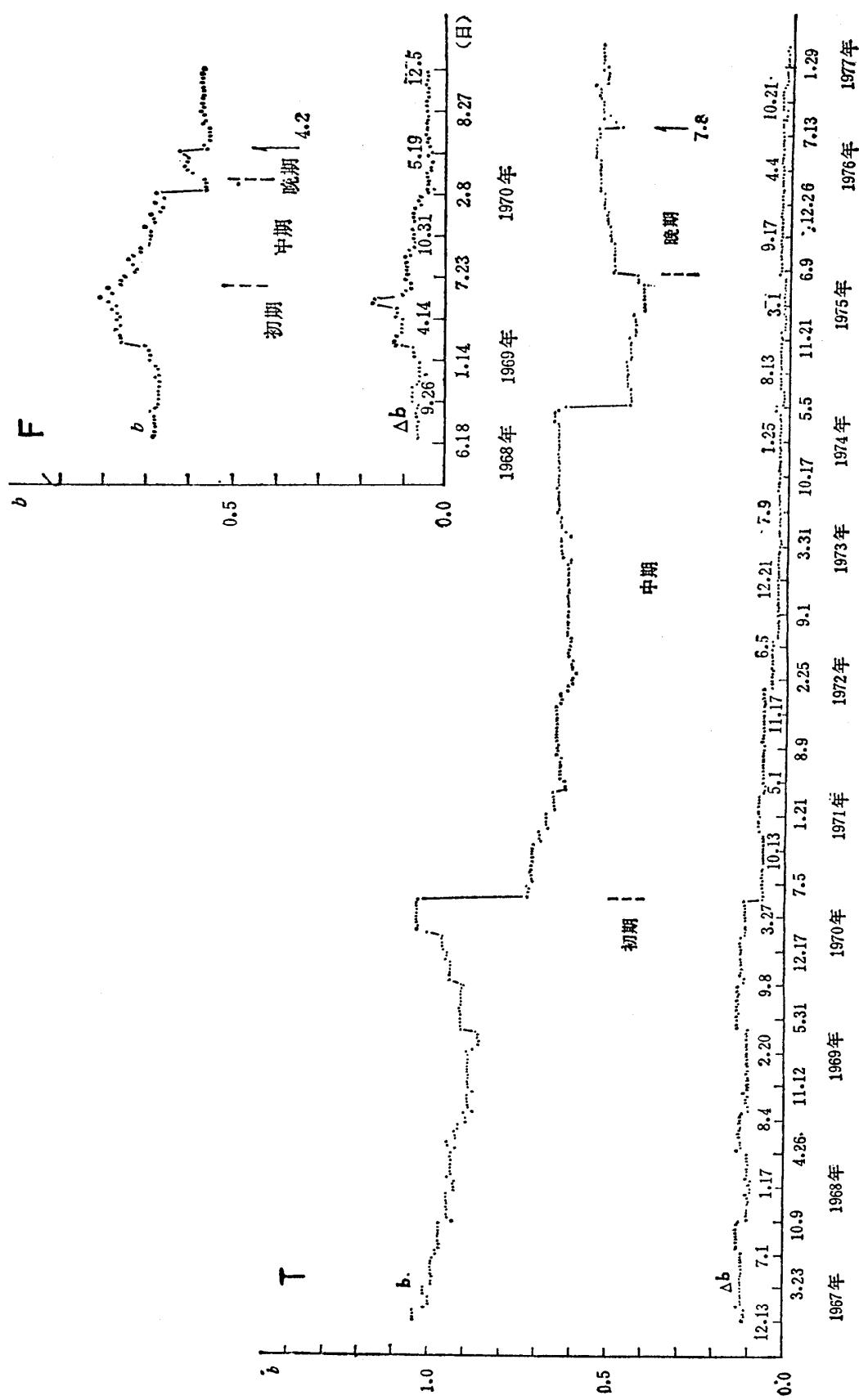


図 3.2.10 地震前長期の b 値の異常変化（馬，1978）

T : 唐山地震 F : 丰南地震

中国の地震予知の現状

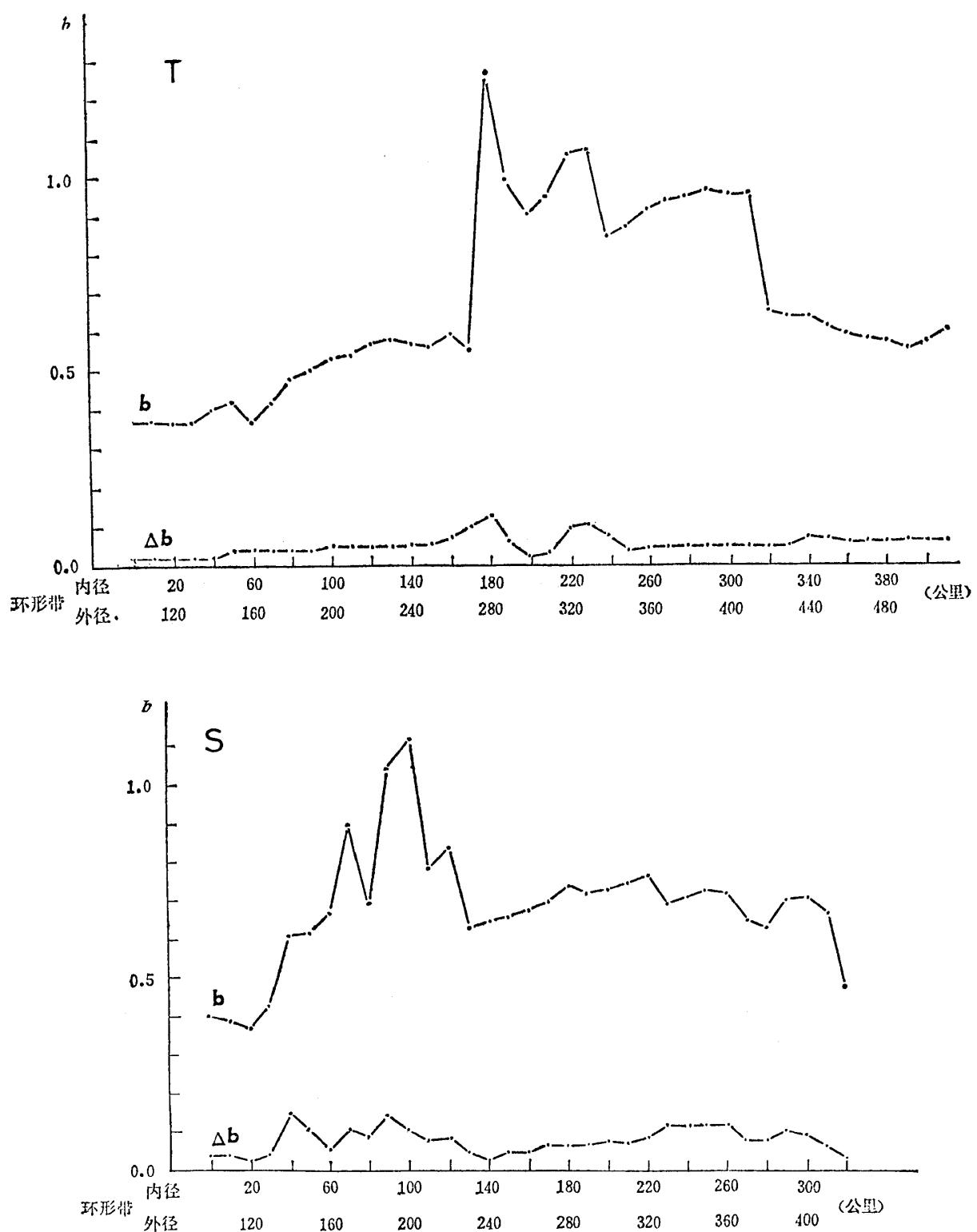


図 3.2.11 主震からの距離による b 値の変化(馬, 1978)

T : 唐山地震 S : 邢台地震 Y : 延慶地震 F : 丰南地震

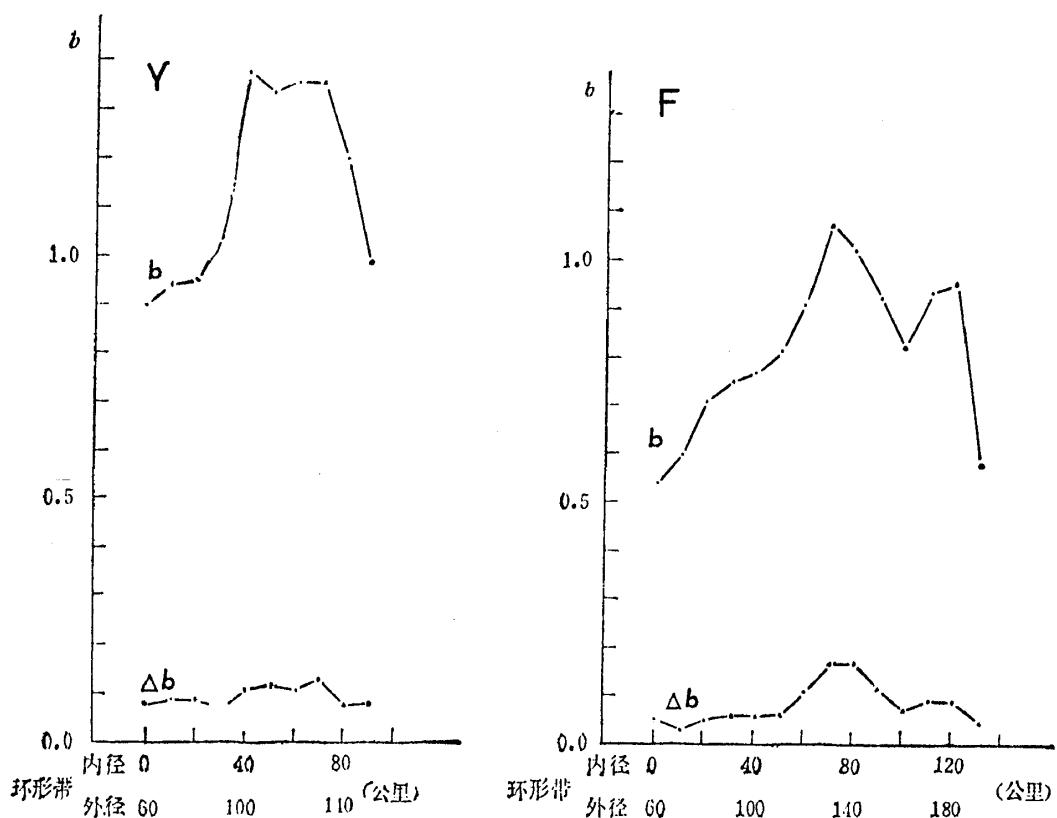


図 3.2.11

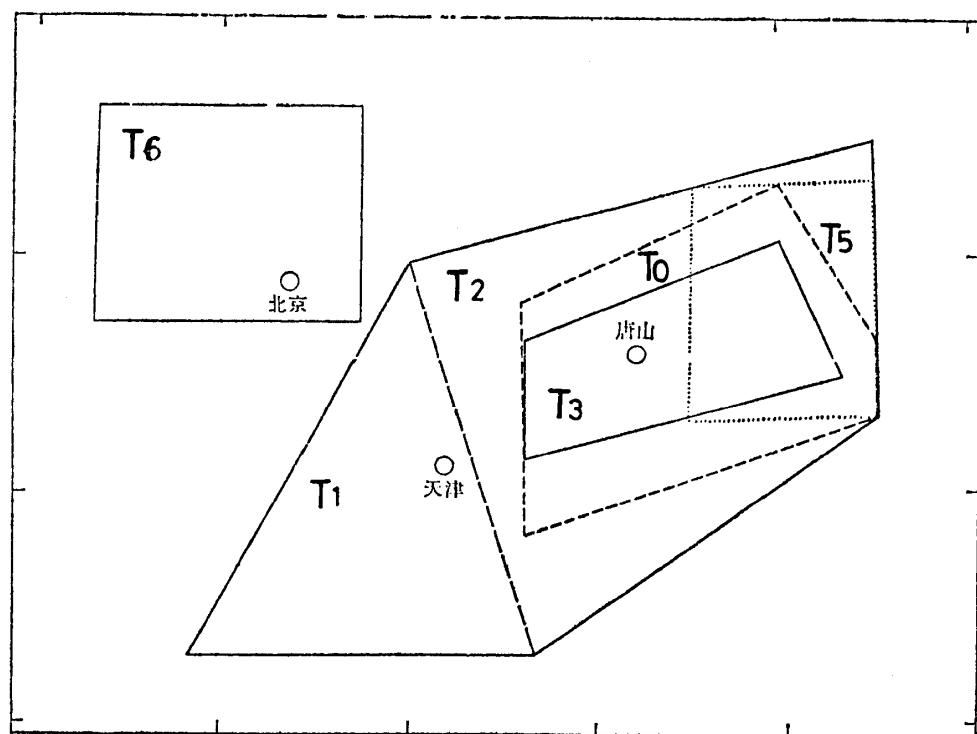


図 3.2.12 京津唐渤海地区における唐山地震前の **b** 値の時間的変化 (馬, 1978)
a. 地域の区分

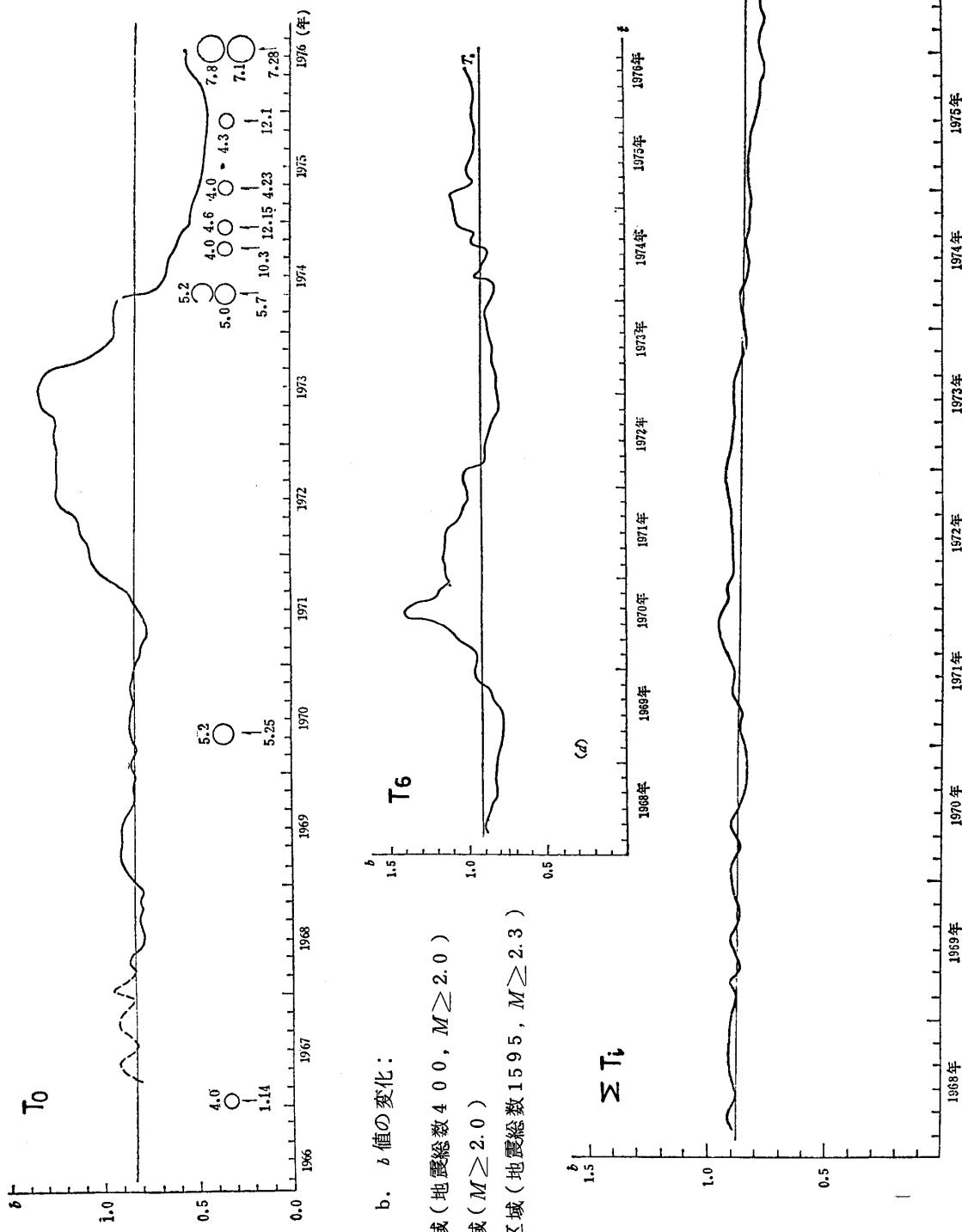


図 3.2.12 b. b 値の変化：

T_0 区域（地震級数 $4 \sim 0$, $M \geq 2.0$ ）

T_6 区域 ($M \geq 2.0$)

ΣT_i 区域（地震級数 $15 \sim 9.5$, $M \geq 2.3$ ）

値土 0.2 程度であった。この間の地震の規模別の発生状況は（表 3.2.3），’66 年 4 月から ’68 年末までは、この 10 年間の平均値と一致しており、まったく正常な活動時期であった。’69 年 7 月 18 日の渤海地震 ($M = 7.4$) 前後、この区域の小地震活動が顕著に増えた。

1970 年 5 月 25 日 $M = 5.2$ の中地震が発生したが、 b 値にはっきりとした変化はまだ現われていない。第 2 段階以後、地震の発生頻度が急に下り、中地震の発生が比較的多くなり、小地震の占める割合が下がった。第 3 段階では地震の頻度が回復を示した。 b 値の異常変化時期、特に第 2、第 3 段階中の地震は「廣義（広義）前震」と、小地震を欠く現象は「缺余震的前震」とも呼べよう。

表 3.2.3 T_0 区における 1966 年 4 月～1967 年 7 月の月平均地震発生状況（李ら、1978）

起迄時間	$M_L \geq 2.0$	該級地震占地震总数的百分比				$M_{L\max}$
		月平均数	2.0 - 2.9	3.0 - 3.9	4.0 - 4.9	
1966 年 4 月～1968 年 12 月	3.16	91 %	8 %	1 %		4.0
1969 年 1 月～1971 年 8 月	4.80	94 %	5 %		1 %	5.2
b 値 異常 阶段	1971 年 9 月～1973 年 8 月	3.45	95 %	5 %		3.4
	1973 年 9 月～1975 年 12 月	1.53	67.5 %	18.5 %	9.3 %	4.7 %
	1976 年 1 月～1976 年 7 月 27 日	2.44	94 %	6 %		3.6
1966 年 4 月 1 日～1976 年 7 月 27 日	3.22	90.8 %	7.3 %	1.2 %	0.7 %	5.2

以上に比し、北京付近 (T_6) の b 値の変動は全く似ていない。また、京津唐渤海区域（約 16 万 km^2 ）全体としての b 値 ΣT_i は、この 10 年間終始 0.88 付近を変動しており、唐山地区の局地的異常の影響をほとんど受けていない。

次に b 値の空間的变化は図 3.2.1 3 のようである。なお、図上各点の b 値は統計的には質は同一ではなく、変化の全体的すう勢を見る事が眼目である。図の範囲はほぼ $1.5^\circ \times 1.5^\circ$ の約 2.2 万 km^2 の面積の地域で $M \geq 2.3$ の地震により b 値を求めた。等 b 値線は 0.6 から 1.0 の 5 条で、0.6 以下は両斜線、0.6 から 0.7 の範囲は一方斜線を付した。この図を見ると、1968 年 3 月 31 日までの間は特に異常を示す所はなく、この 10 年間の総平均と類似したパターンを示す。次の ’72 年 12 月 31 日までの時期には北京付近と、その南西に低 b 値区域が現われ、その低異常域は北京南方に移動したのち、更に東に転移した。’74 年 11 月 30 日までの時期には唐山の東方に低 b 値域が現われると共に、唐山付近に南北方向の高 b 値帯が出現した。’74～’75 年の時期には、この高 b 値帯は消え、低 b 値域は唐山を含みその南東側を占めるようになった。この時期は海城地震（低 b 値地区から約 300 km）の前であり、すでに述べたように唐山地域の b 値が最低となった時期である。その後、唐山地域の b 値がやや回復すると共に、低い地域はやや狭まり唐山地震となった。

地震活動は、 $M 4$ 以上の中震についてみてみると、’73 年前半までは地域全般に比較的分

中国の地震予知の現状

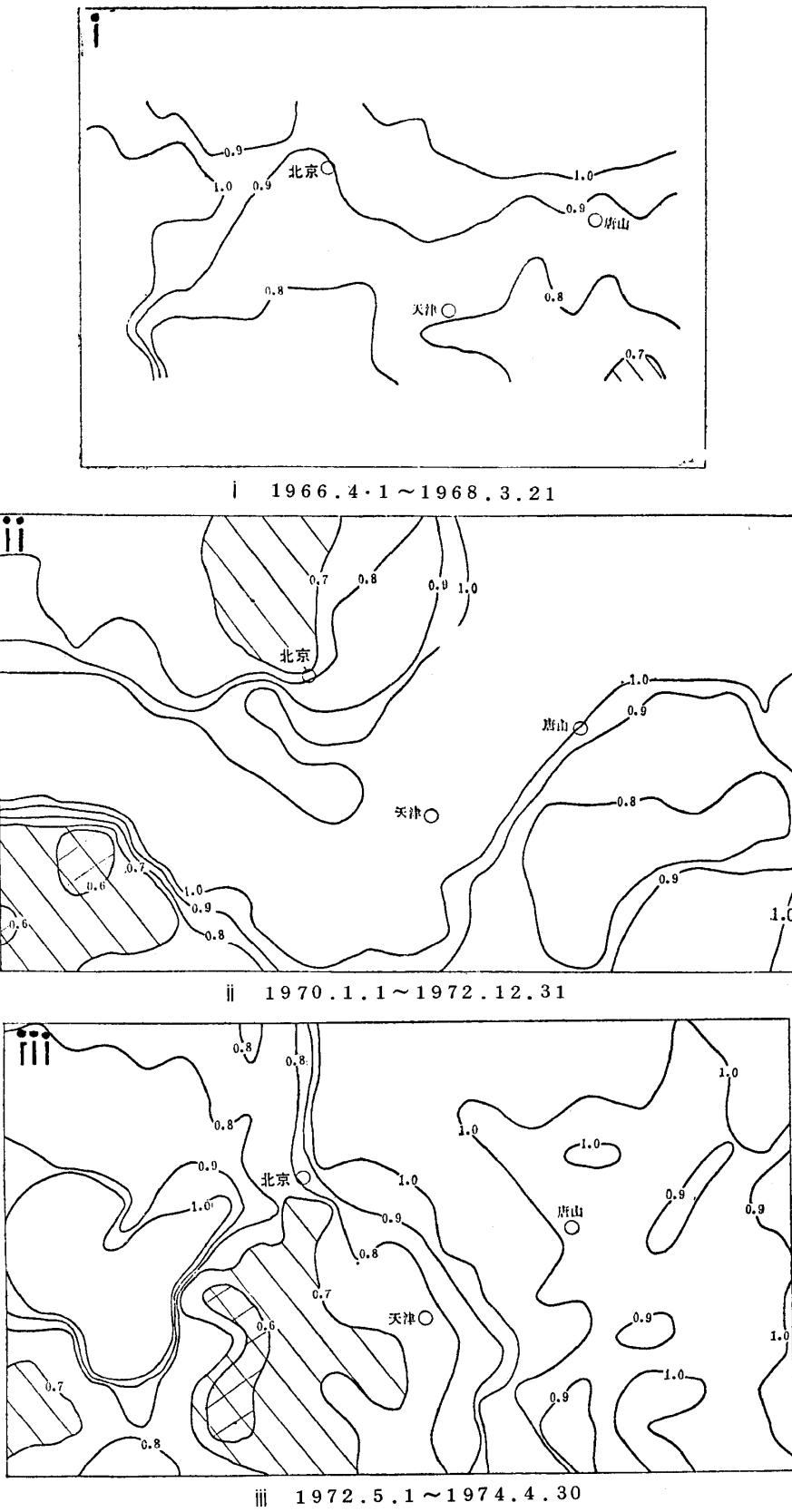


図 3.2.13 京津唐渤海地区における唐山地震前各期の b 値の空間変化（李ら，1978）

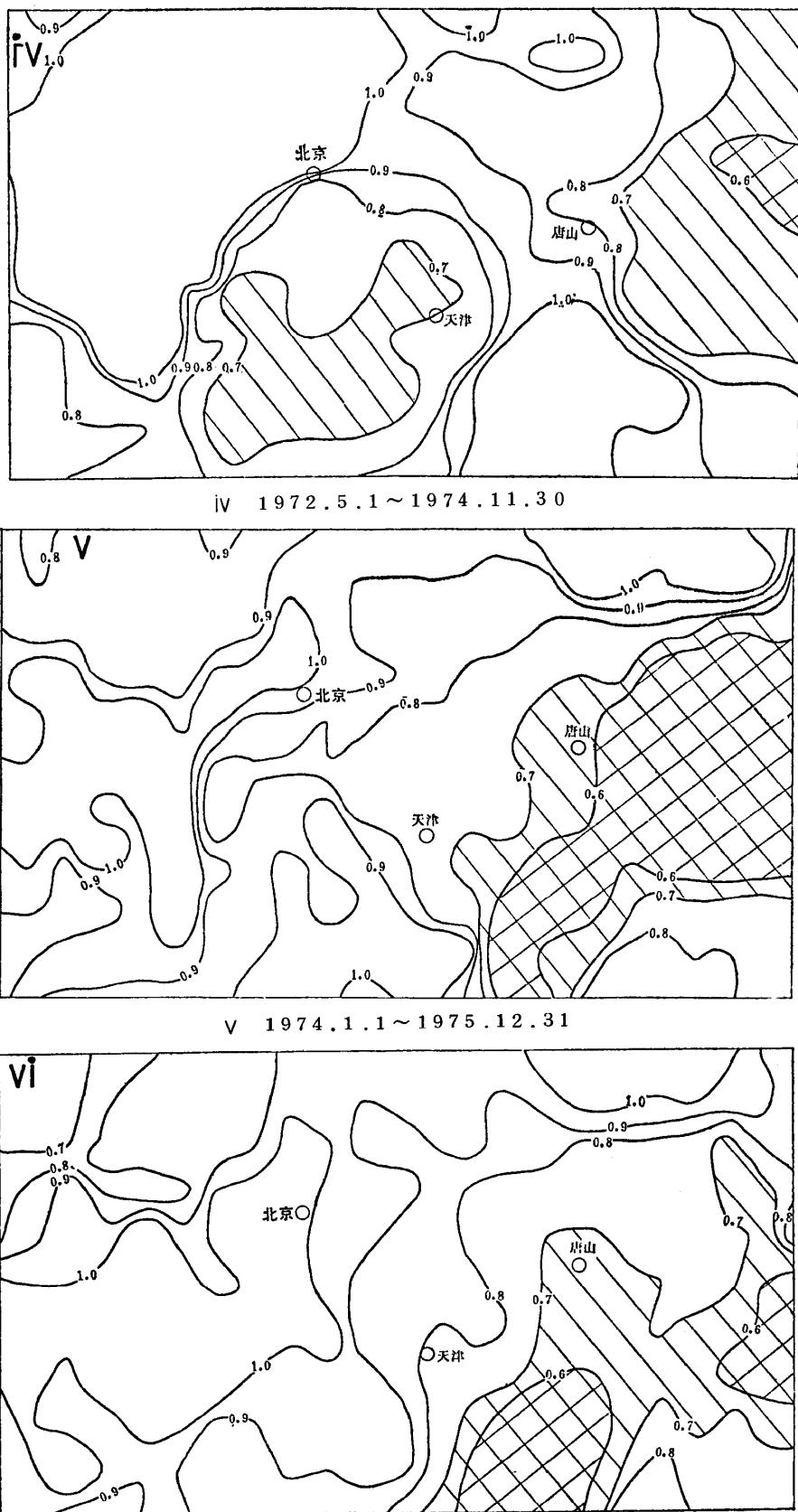
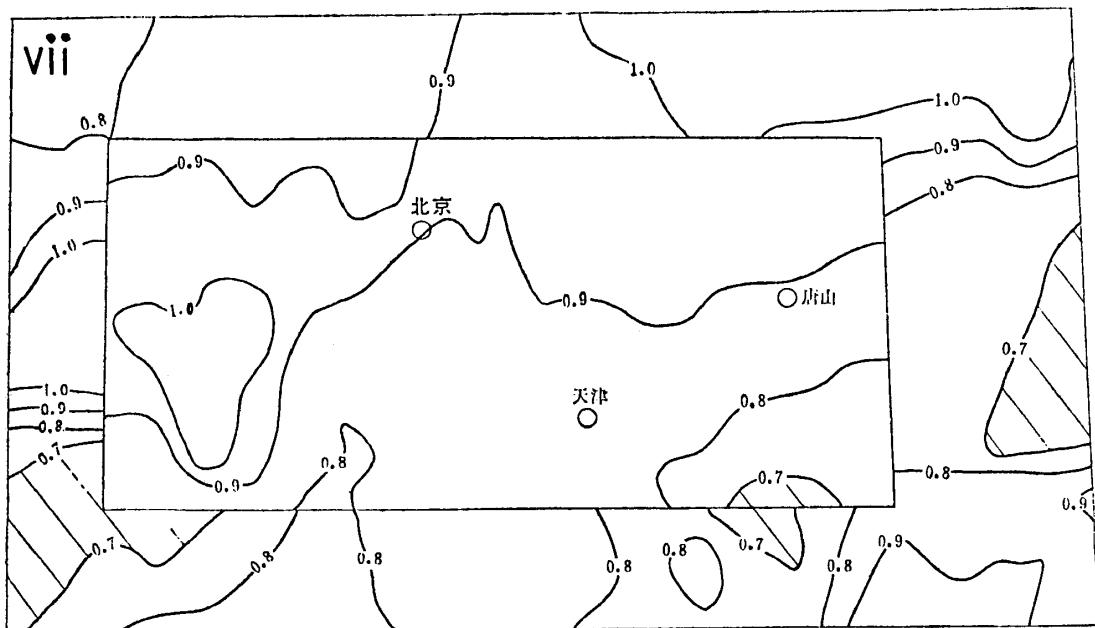


図 3.2.13 VI 1974.6.1 ~ 1976.5.31

中国の地震予知の現状



VII 内枠内 1960.4~1976.7.27 内枠外 1971~1976.7.27

図 3.2.13

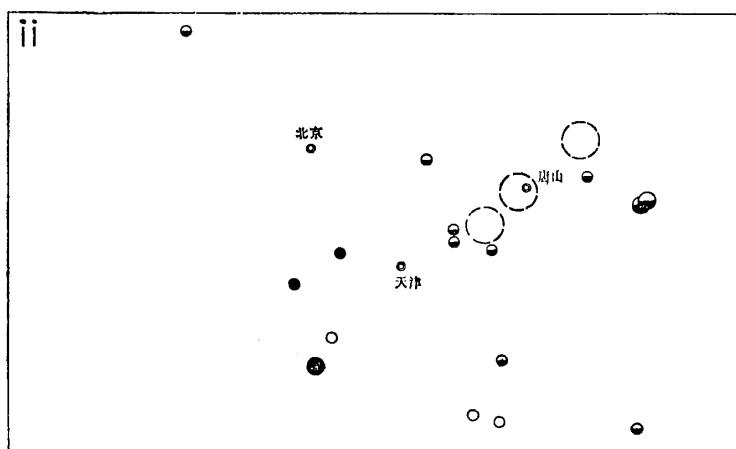
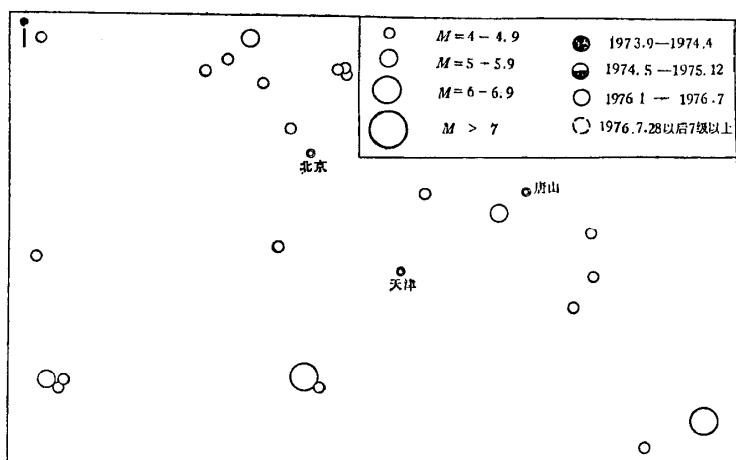


図 3.2.14

京津唐渤海地区内震央分布

($M \geq 4.0$) (李ら, 1978)

i 1960.4.1 ~
, 73.8

ii 1973.9 ~
, 76.7.27

散して発生している(図3.2.14)。1973年9月から'74年4月の時期には震央が中部に集中して発生している。'74年5月から'75年末までの時期には多くが東部に移動し、地震活動域の変化と低**b**値の域の西方から東方への移動の間にある程度の関連がみられる。なお、この10年間の総体の**b**値分布をとってみると、京津唐渤海地区についても、それより狭い京津唐地区についても特に異常な値を示す所はない。

b値が最低0.5位まで下り、回復して地震の起った例が唐山地震のはか4例示されている(図3.2.15)。いずれも観測期間が十分長くなく、観測網も十分展開されていないので、空間扫描はできていない。なお、太原地区(0.8 万km²)では、地震活動度が高まり、**b**値が'74年前半に0.2高まり、それが半年程続き、その後は唐山地区の長期平均線上にそって、若干の変動を続けているが、これまでに強震は発生していないという。

g) 前兆震群

唐山地震には前震がみられなかったが、华北地区(E106°—黄海以西, N33°—42°の範囲)においては、大地震前に広い地域で異常な地震群の活動の現われることがあるといふ(朱ら1978)。1956年から'76年の20年間に华北地区では34の地震群が活動し、そのほとんどが北部の河北—山西両省内に集中した(図3.2.16)。

邢台地震(1966年)以後唐山地震までの間は、その前(1956—'66)の8群に比べ、24群あり、3倍も活潑化し、M7以上の大地震も後半の10年に集中している。地震群の活動水準も高まった(図3.2.16)が、海城地震と唐山地震の前数年間の年頻度分布は激しく変動している。同様の事例は邢台地震前の红山地震台の観測でも知られている。このようなことは、地殻中に応力が加速度的に累積されている過程を反映しているとも考えられ、広範囲域の地震群活動の水準を捕えることは、地下の応力状態の変化を捕える窓の一つとみることができる。

1967—72年の間、地震群は邢台以西の昔陽、和順、平遥及び南西の河南省林县地区に大多数が集中し、このほか、北京周辺の怀柔、三河、涿鹿にもみられた。これらは歴史上常に地震群の現われる地区で、一種の大地震後の周辺の応力調整箇所で「诱发(誘発)」地震群活動といえる。ただし、'74年以後は地震群の活動範囲が拡大し、唐山地震半年前までは特にそうであった。その活動は、北東—南西方向の河南省内乡(郷)から辽宁省の敖汉旗の間1200kmの線と、北西—南東方向の山东省庙島から内蒙の磴口に至る1100kmの線に拡大した。これは、邢台地震以来の华北の数次の強震の包囲圏を形成したものであり、それが逐次外に拡散していく跡ともいえる。このようなことは、かっての华北の大地震前にも程度の差こそあれ見られた。たとえば、1668年の山东省郯城・莒县のM8.5地震の前5年位は未來の大地震震央区域に中地震(M4—4 3/4)が発生し、それから一步一步震源区域の外側に拡散している(図3.2.17)。ただし、構造条件による規制を受け、各方面に均等に拡散してはいない。河北省磁県のM7.5地震(1830)の場合も類似の現象が

中国の地震予知の現状

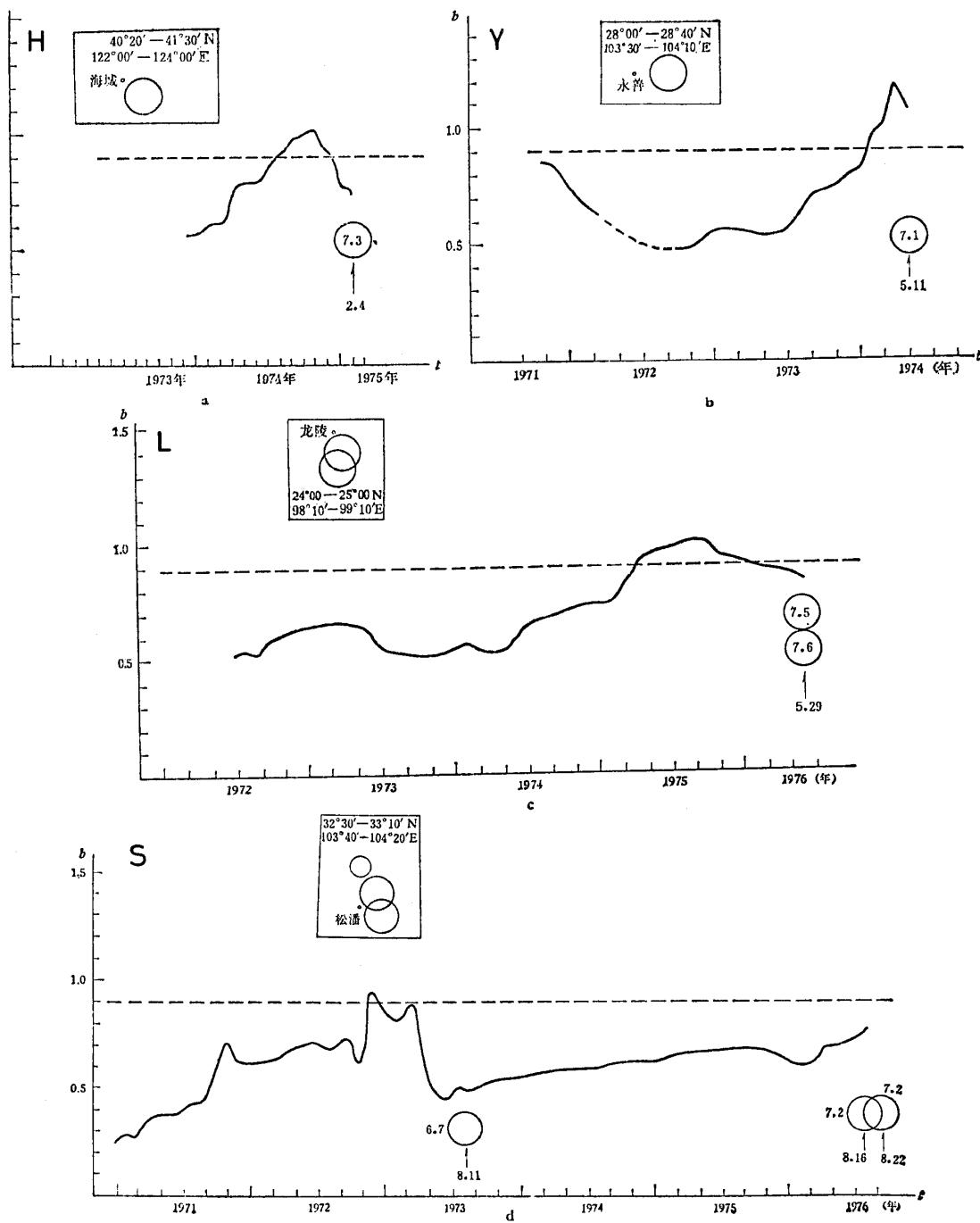


図 3.2.15 地震前の b 値の変化例 (李ら, 1978)

H : 海城地震 (1975.2.4, $M 7.3$)

Y : 永善地震 (1974.5.11, $M 7.1$)

L : 龙陵地震 (1976.5.31, $M 7.5$, 7.6)

S : 松潘地震 (1973.8.11, $M 6.7$, 同 8.16, 8.22, $M 7.2$)

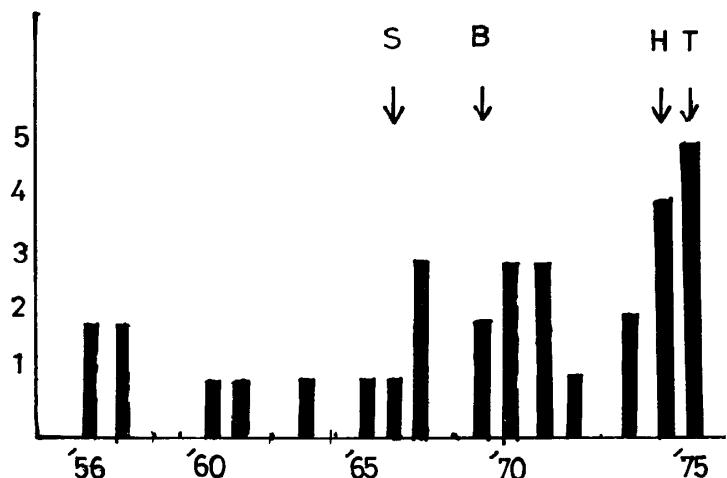
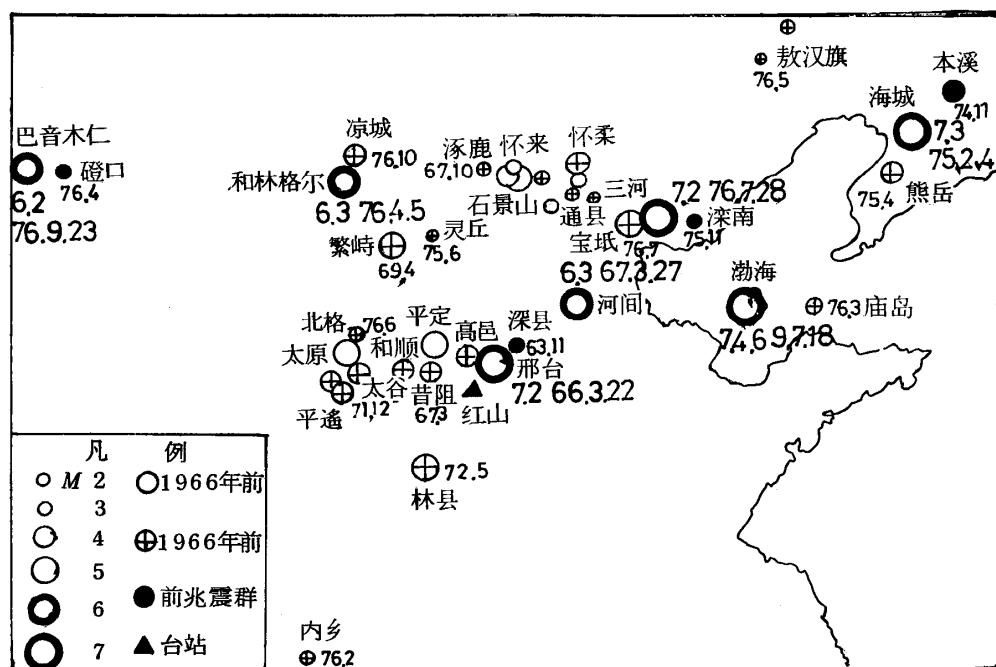
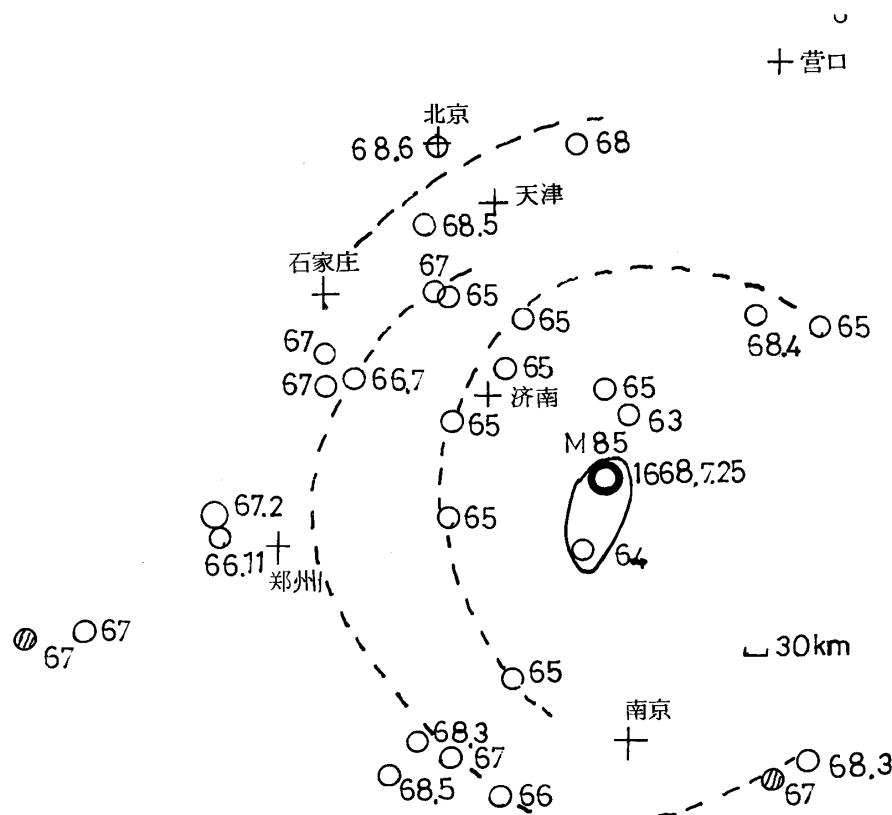


図 3.2.16 华北地区の前兆震群の活動 (1956~'76年)
(朱ら, 1978)

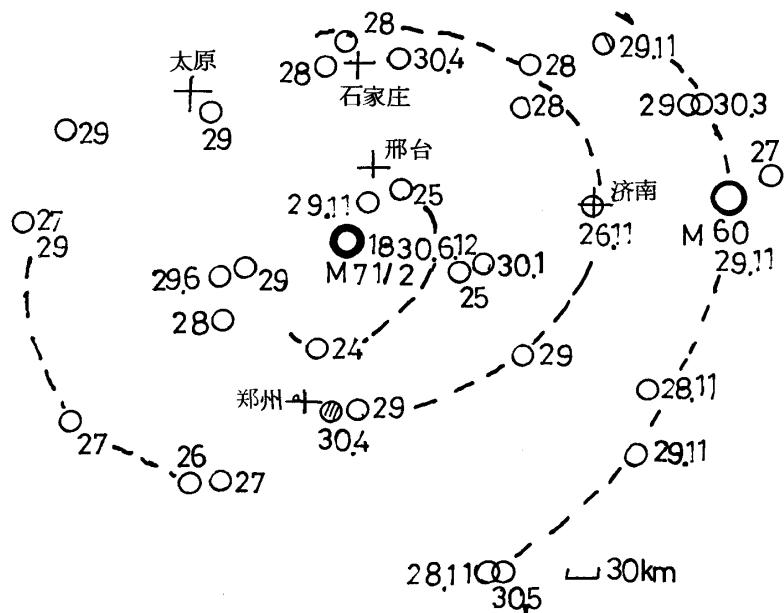
- a. 震央分布図
- b. 地震群数の年齢分布
(唐山地震前)
- S : 邢台地震
- B : 渤海地震
- H : 海城地震
- T : 唐山地震

みられ（図3.2.17 ii），この2例の平均拡散速度は100km/yである。1979年の三河・平谷地震（M8）と、1976年の唐山地震（M7.8）の前1年前後の中強地震（包括震群）の活動状況（図3.2.17 iii）をみると、地震前1年以内は両地震とも震央南東方向上の山東半島と南西方向上の河南省南部に顕著な活動がみられる。更に、临震数カ月になると地震活動は末来の震央に向って収れんするすう勢がみられる。これら両地震は距離も近いし、規模もほぼ等しく構造条件も似ており、华北平原の北東走向の地震帯と東西走向の燕山地震帯との交流点に位置している。そのため300年隔っているが、両地震の前1年前後の広域の地殻応力の変化過程は相似している。このことは広域の地震群活動の時（時）空変化は、地震活動の他の特徴と合せて分析すれば中期予報に役立つものと考えられる。唐山地震後、すぐそばの宝坻地区に地震群が活動し、'76年10月中旬には例外的に内蒙古の凉城で地震群が発生した。磴口と凉城地震群の発生の間には高い相関がみられ（図3.2.18），

中国の地震予知の現状



i 鄭城・莒县地震（数字：発生年月日ただし 1600 を略）



ii 磁県地震（数字：発生年月日ただし 1800 を略）

図 3.2.17 华北地区の大地震前の地震活動の特性（朱ら、1978）

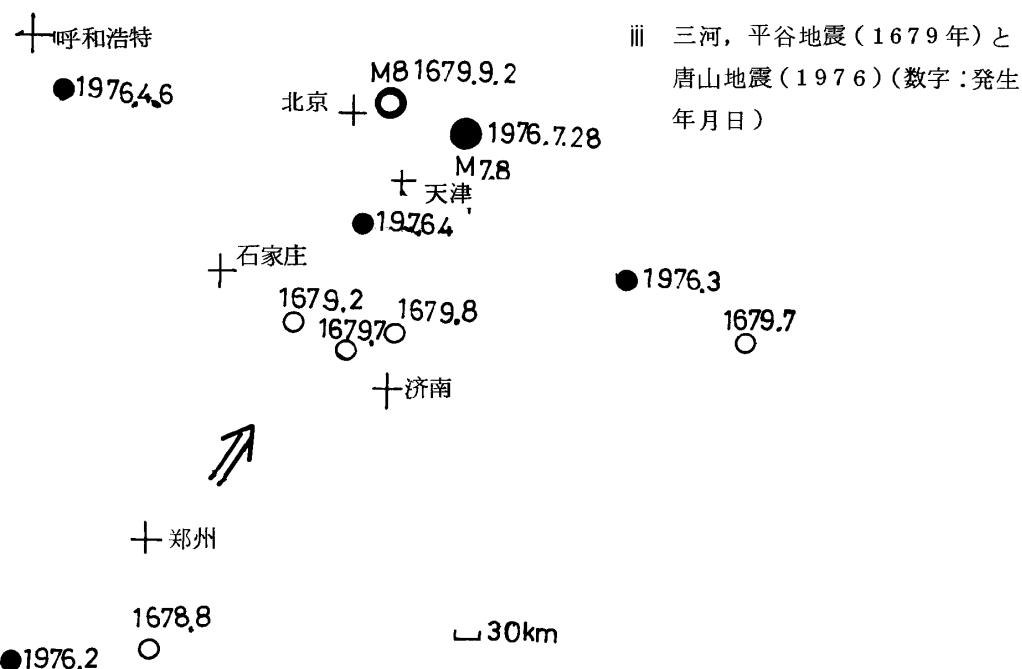


図 3.2.17

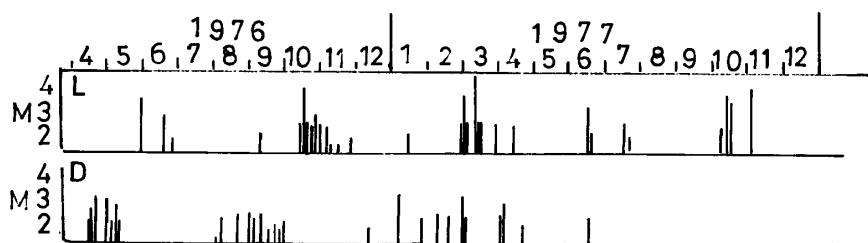


図 3.2.18 凉城(L), 磬口(D) 地震序列図(朱ら, 1978)

和林格尔と巴音木仁の $M \geq 6$ 級地震も互いに発生に影響し合っている。华北におけるこの 10 年来の観測結果から上述のほか、地震前 1 - 2 年数カ月前に未来の大地震の震央から、あまり遠くない地域、たとえば 100 km 内に常に地震群が発生している。更に、これらの地震群と未来の大地震は同一構造帯に属し密接な関係をもっている。従って、これらを「前兆震群」と名付ける。ただし、前兆震群と一般の地震群との鑑別は難かしい問題で、それは前震の場合と相似している。

1966 年から 10 年来、华北では $M \geq 7$ の地震が 4 個、 $M 6 \sim 7$ の地震が 3 個（余震は含まず）ある。それらの前兆震群（表 3.2.4）の最大地震の規模 M_p と本震の M_m 、及び相互の発生間隔 ΔT の間によい相関はみられないが、規模の差は 2.5 以上あるようである。

前兆震群は未来大地震と同一構造に属し、共に高応力場で発生するので、大地震と同じ力学的条件ももっているはずである。これに対し、一般地震は広域的な構造応力場内で発生するが、局部的な構造条件の制約下で発生しているはずである。

中国の地震予知の現状

表 3.2.4 1966年～1976年の华北における $M > 6$ の地震と前兆震群の関係(朱ら, 1978)

地震名	日 期	震級 (M_m)	前兆震群 発生地区	前兆震群最大 地震級 (M_p)	$M_m - M_p$	Δ (km)	ΔT 天(日)
邢台	1966.3.22	7.2	深 县	3.5	3.7	42	870
海 城	1975.2.4	7.3	本 溪	4.8	2.5	94	75
唐 山	1976.7.28	7.8	深 县	3.5	4.3	50	240
巴音木仁	1976.9.23	6.2	磴 口	3.3	2.9	60	150

Δ 本震と前震群との距離 ΔT 本震と前震群発生開始日との時間間隔

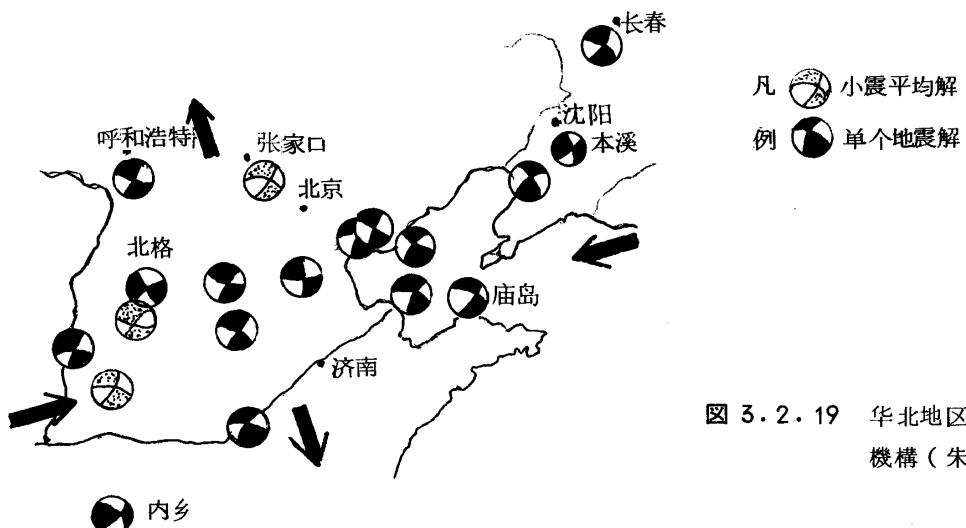
まず、一般地震群と前兆震群4例につき、その主要地震のP軸とT軸をみてみると(表3.2.5、図3.2.19も参照)、华北地区総体的応力場の方向(最大主応力軸NE65°-75°、最小主応力軸NE65°-75°)との隔りが大きく、各地震群は発生した所の局部的構造条件を示し、両地震群に差異はみられない。

次に、地震群の中の主な地震の応力降下を見てみると(表3.2.6)、本溪地震群は海城地震('75.2.4)以前は比較的高い応力降下(数十バール)を示し、以後は数バール程度に落ちている。唐山地震('76.7.28)前の深县地震群の応力降下はやや高く、北格・内乡(郷)・庙島地震群の応力降下は低い。凉城地震群にやや高いものがみられるが、前兆地震群と一般地震群との間に差異があるとみてよいであろう。

表 3.2.5 华北地区の一般地震群と前兆震群の応力軸の比較(朱ら, 1978)

震群名	地震日期	M	P 軸		T 軸	
			方 位	仰 角	方 位	仰 角
北 格 ^(注)	1976. 7. 21	3.2	140°	10.5°	46.5°	18°
内 乡(郷)	1976. 2. 14	3.4	165°	10°	266°	44°
庙 岛	1976. 2. 25	4.1	253°	47°	163°	10°
本 溪	1974. 12. 22	4.8	179°	45°	291°	22°

注) 原文8例より1例のみ抽出



**図 3.2.19 华北地区の地震の発震
機構(朱ら, 1978)**

b 値については一般地震群は 0.5 ~ 0.9 と変動幅が大きく、本溪・磴口前兆震群と一般地震群との間に差異があるようにみえる（表 3.2.7）。

h) 唐山地震前後の応力変化

华北地区の応力場についての測定結果（季方全、図 3.2.20）については、すでに紹介さ

表 3.2.6 地震群の中の主な地震の応力降下（朱ら、1978）

震群名	日 期	M	Δσ	震群名	日 期	M	Δσ
本 溪	1974.12.27	2.5	パール 43	北 格	1976.11.11	2.2	パール 16.6
	12.31	2.8	80		11.18	2.5	9.6
	1975.1.4	2.7	67		1977.1.1	2.2	1.6
	1.5	2.8	73		1976.2.17	2.6	0.4
	1.7	2.7	26		2.18	2.5	2.0
	3.4	2.4	4.7		2.26	2.5	0.8
	10.15	2.5	27		1976.11.12	2.0	10
	11.2	2.5	13		11.26	2.4	38
	1976.2.16	2.5	6.8		12.11	2.0	4.0
	1975.11.13	2.5	49		12.30	2.4	29
深 县	1976.2.13	1.9	10	涼 城	1977.3.21	2.4	18
	2.22	2.6	20		1976.3.29	2.6	2.4
	4.4	2.2	29		3.30	2.7	15
	1976.2.4	2.6	5.0			2.6	6.0
北 格	6.19	2.4	6.4			2.5	2.0
	7.20	2.2	3.7		5.30	2.0	0.6
	9.21	2.3	9.4		7.19	2.2	0.7
	11.7	2.1	9.5				

表 3.2.7 地震群の *b* 値（朱ら、1978）

震群名	時 间	<i>b</i> 値	震群名	時 间	<i>b</i> 値
怀 来	1965.5	0.58 ± 0.02	本 溪	1974.11	0.68 ± 0.03
涿 鹿	1967.10	0.76 ± 0.06	敖汉旗	1974.3	0.74
怀 柔	1967.11	0.52 ± 0.14	庙 岛	1976.3	0.61
平 遙	1970.9	0.33 ± 0.04	磴 口	1976.5	0.55 ± 0.06
和 顺	1971.4	0.77 ± 0.06	北 格	1976.6	0.81 ± 0.01
林 县	1972.5	0.70 ± 0.03	内 乡	1976.2	0.37
灵 丘	1975.6	0.86 ± 0.05	涼 城	1976.10	0.51 ± 0.08

れている（1977年地震学会訪中団報告集）。

陈培善ら（1978）は震源の円盤形剪断モデルにより京津唐張地区の地殻の応力状態を研究し、唐山地震前、唐山から100km程離れた昌黎などでは200バール程度であるのが、可見・唐山・丰南・霸县一帯は800～900バールもの高い値を示していたが、地震後100バール前後に下がった事を明らかにした（図3.2.21）。しかし、宁河付近はなお、400～500バールあったが、これも1976年11月15日のM6.9の地震以後、200バール前後に下がった。霸县はなお900バールもあり、ここにはM6級程度の地震を発生させる応力的背景があり、特に注意すべき所であり、また、怀柔（580バール）や宝坻（300バール）なども同様に応力の高い所で注意を要するとしている。

また、大地震発生前後の震源域の応力変化を探究し、大地震発生の監視のため、危険度の物理的示標を探し出す研究を郑ほか（1978）が行なっている。唐山・邢台・海城・永善・中甸の各地震と唐山の余震（1976.11.15）について、その本震前後のM4～5程度の地震について、震源のパラメータとして $\bar{F} = M_s - \log S$ （地震波から得た規模 M_s 、同じく震源断層面の面積 S ）、実際にはそれらを丸めて

$$\bar{F} = 4.5 - \log S$$

を算出した。

唐山地震の場合、震央から200km以内につき、渤海地震1年後の1970年以降の地震（ $M \geq 3.7$ ）についてみると、丰南地震（'70.5.25 M4.2）の \bar{F} 値は3.6で、まだ

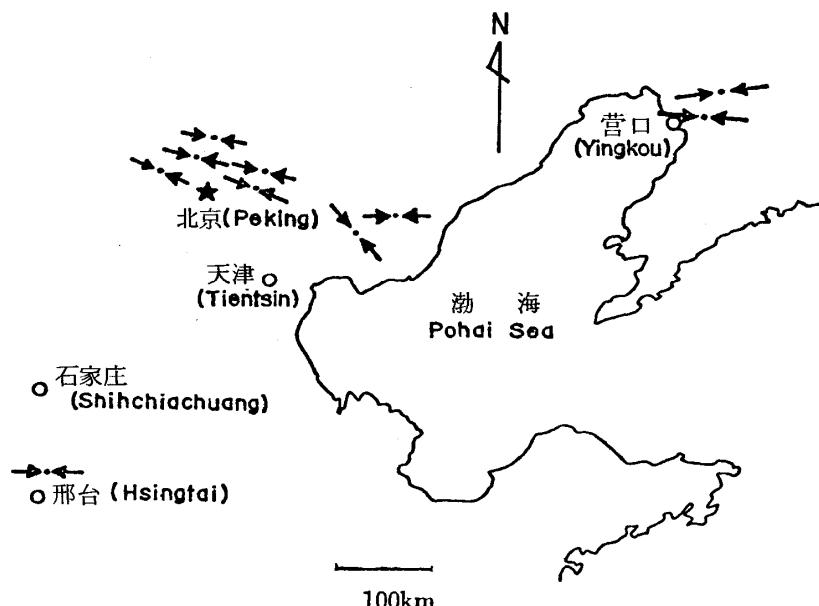


図3.2.20 华北地区主圧縮応力方向（地殻応力測定による、季方全）

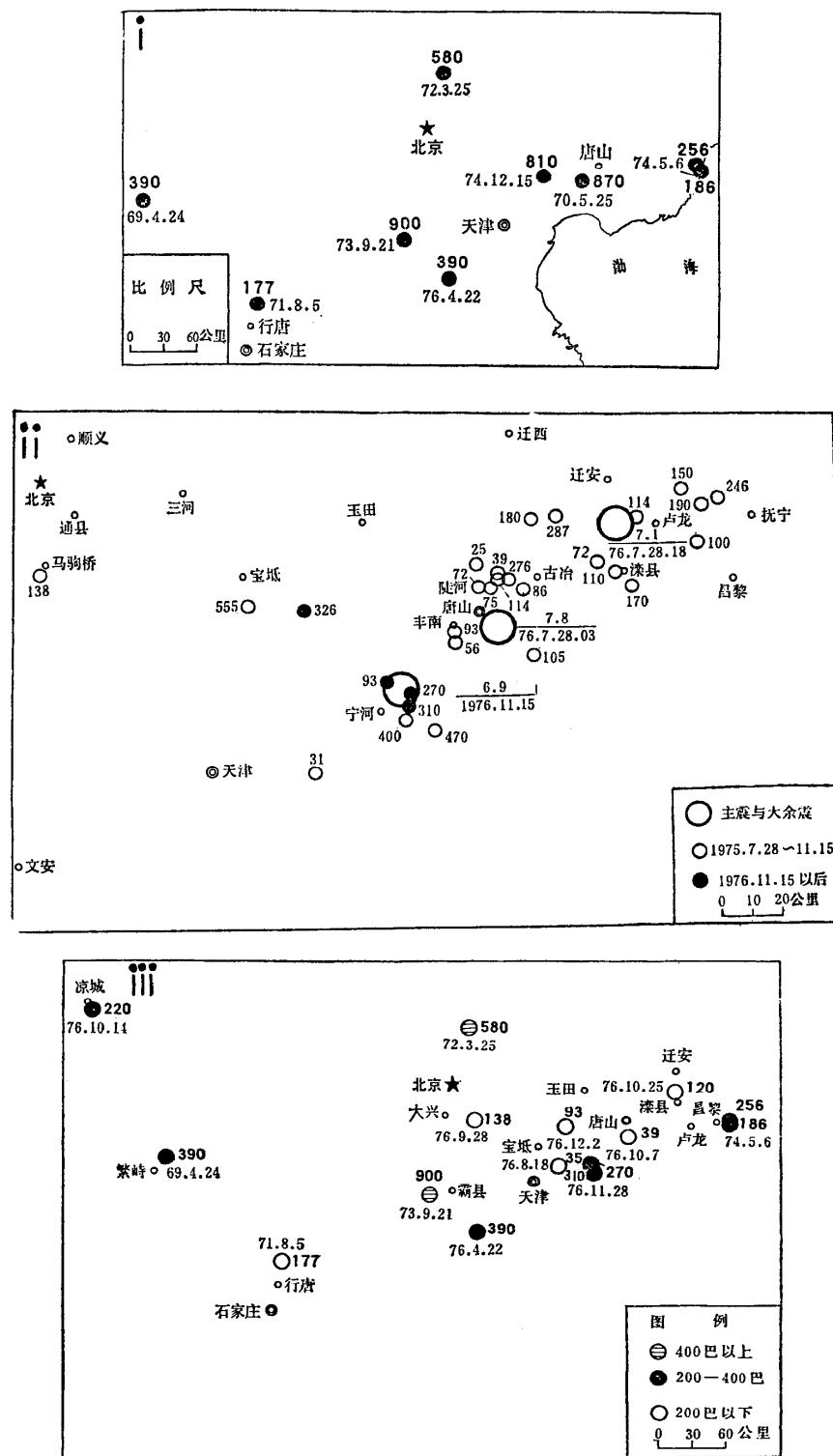


図 3.2.21 京津唐渤海地区の唐山地震前後の地盤の応力状態(陳ら, 1978)

i 唐山地震前 (1969.4.24 ~ '76.4.22)

ii 同 後 (1976.7.28 ~ '76.12.2)

iii 1977年2月まで

中国の地震予知の現状

唐山付近には大地震発生の前兆は現われていない。1972年3月25日の怀柔地震 (M 4.2) 以後、 \bar{F} 値に高異常がみられるようになり、広い範囲での応力集中の開始が認められた。さらに、霸县 ('73.9.21, M 4.9), 昌黎 ('74.5.7, M 4.7, 4.6), 文安大城 ('76.4.22, M 4.0) で大地震の孕育地区が明らかとなった。また、宁河の西 ('74.12.15, M 4.1) と宁河東南 ('75.12.1, M 3.7) の地震の \bar{F} 値は異常に高く、 M 6 以上の大震を発生させる応力的背景をこの地域がすでに備えたことを示していた（図 3.2.22）。

本震後 '76 年 11 月末までに 5 個の強余震 ($M > 6.0$) があった。本震後の 38 個の余震から計算した \bar{F} 値の時間的变化はやや複雑である。正常な \bar{F} 値 3.5 より低いものが多く現われているが、8 月 19 日天津東北の地震後 \bar{F} の高いものがみられ（図 3.2.22 Ⅲ），地震の起こる情勢にあった所 11 月 15 日に \bar{F} 異常区の中央で M 6.9 の地震が発生した（図 3.2.22 Ⅳ）。

\bar{F} 値異常の発生期間 (t) と範囲 (D) を他の地震の場合について見ると（図 3.2.23, 表 3.2.8），本震の規模が大きい程異常期間は長く、その範囲も広い。なお、1976 年 11 月 15 日の唐山地震の強余震の場合は、大地震後で応力集中が迅速であり、永善と中甸地震につ

表 3.2.8 \bar{F} 異常値と本震との関係（郑ら、1978）

t ：（異常期間）， D ：（異常出現範囲）

時 間	地點	M_s	t （月）	D （公里）	注
1966. 9. 28	中甸	6.4	8	110	
1976. 11. 15	唐山	6.9	3	150	余震
1966. 3. 22	邢台	7.0	29	100	
1974. 5. 11	永善	7.1	13	200	
1975. 2. 4	海城	7.3	36	350	
1976. 7. 28	唐山	7.8	52	400	

いては観測距離が 350–400 km（他は 150–200 km）と遠いため、これらは一

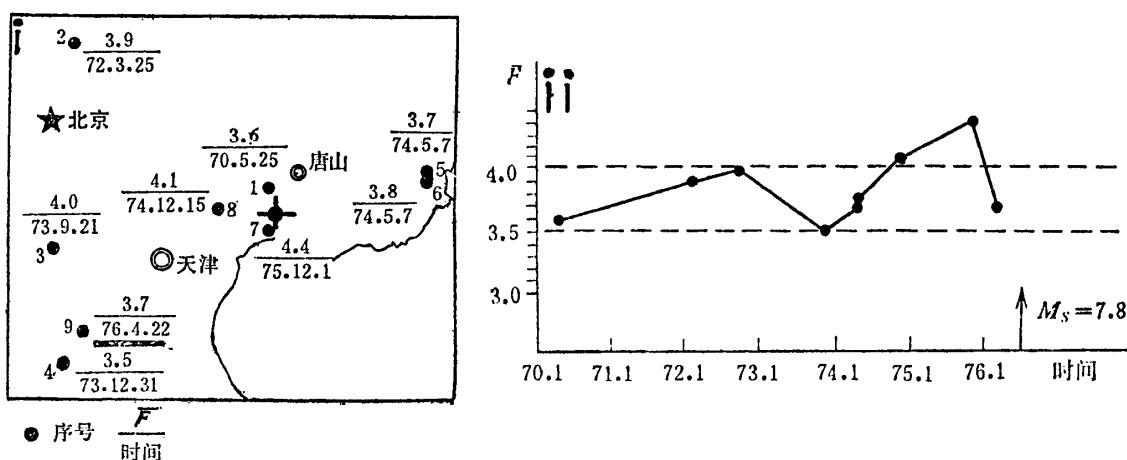
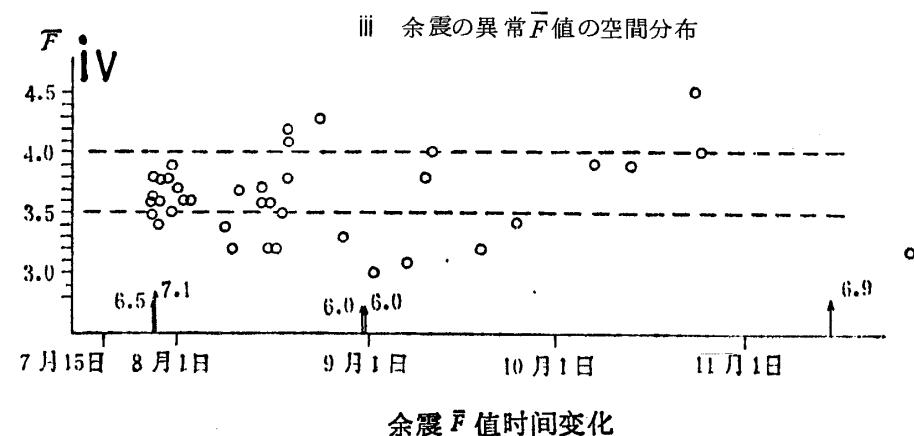


図 3.2.22 唐山地震前後の \bar{F} 値（郑ら、1978）

i 地震前の \bar{F} 値の空間分布 ii 地震前の \bar{F} 値の時間的変化



余震異常 \bar{F} 値の空間分布



IV 余震の \bar{F} 値の時間的変化

図 3.2.22

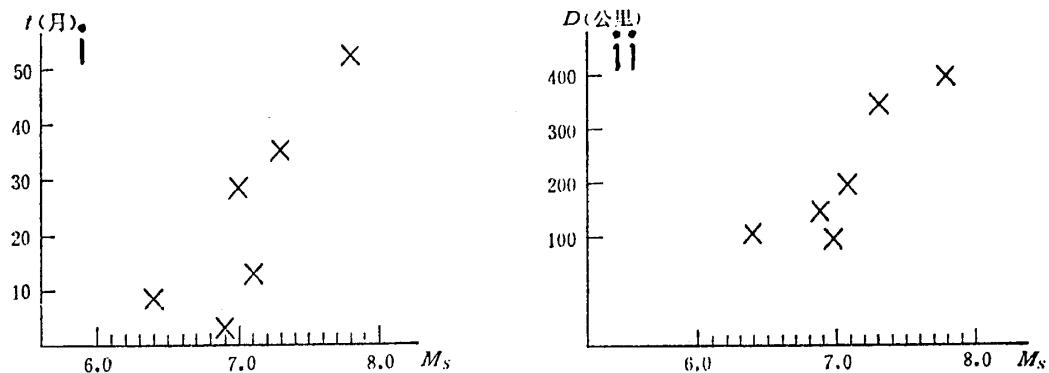


図 3.2.23 \bar{F} 値異常と本震との関係 (郑ら, 1978)

i 異常期間 (t , 月) と本震の規模 (M_s) との関係
ii 異常出現範囲 (D km) と本震の規模 (M_s) との関係

中国の地震予知の現状

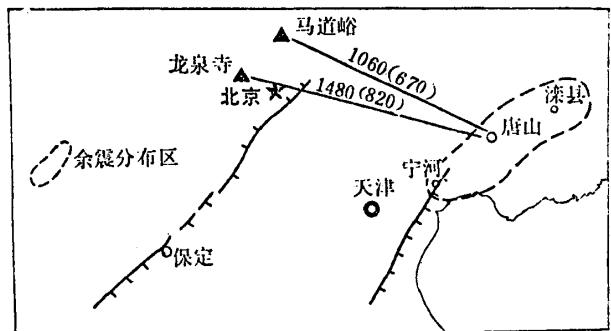
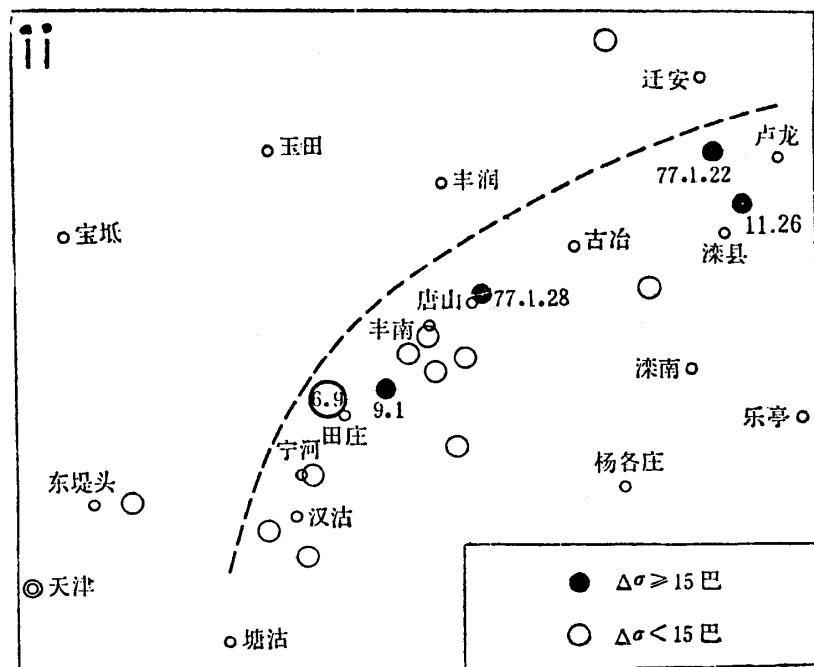
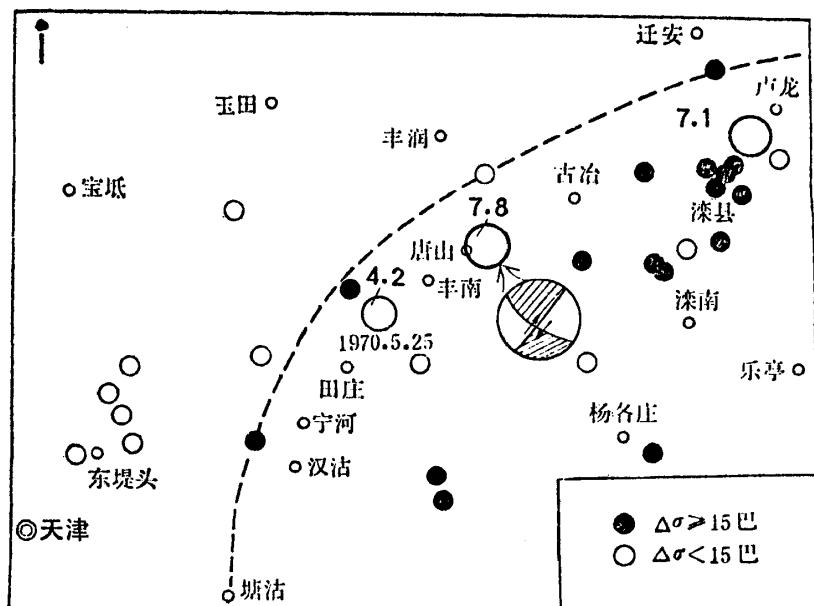


図 3.2.24 唐山地震前後の微小地震の震源
パラメータの変化(朱ら,
1977)

a. 測定区域

() 外数字: 地震前のQ値

() 内の数字: 地震後のQ値



c. 震央分布と応力降下

| : 前震

II : 余震

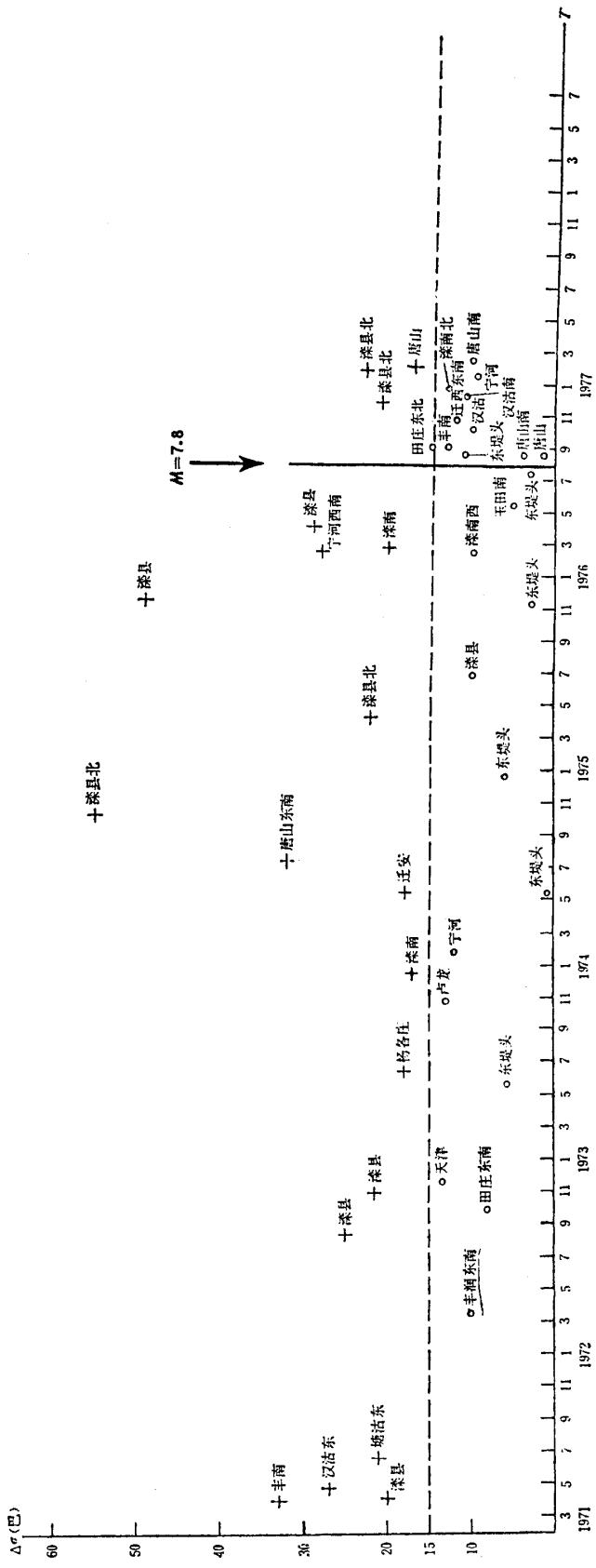


図 3.2.24 b. 応力降下の時間変化

致性が悪いと考えられる。

朱ら（1977）は唐山の3大地震を含む宁河・唐山・滦县・滦南地区で、唐山地震の前（'71.4.2～'76.7.13）と後（'76.8.17～'77.2.14）に発生した微小地震（ $1.0 < M < 3.0$ ）の震源パラメータを調べ、地震前は応力降下が15以上最高55にも達しており、地震後は一般に15以下になったこと（図3.2.24）から、唐山地震前、唐山地域の応力が非常に高く、地震後下がったこと、そしてこの傾向は海城地震の場合とも良く一致していることを報告している。すなわち、1970年5月21日に丰南で $M 4.2$ の地震の発生した1年後の'71年4月2日に、その付近で発生した小地震の応力降下が33バールと大きな値を示した。このことは、 $M 4.2$ の地震後、唐山・丰南一帯の応力が増加したことを示している。さらに、'74年4月頃から唐山地区震源域の応力が加速的に累積されていた（図3.2.24b）。これに対し、天津の北の東堤頭付近の小地震の応力降下は大きくなかった。また、唐山地震後、滦县北方で発生した2地震の応力降下がやや高く、震源域の北端であり、 $M 6$ 前後の強余震の可能性があるとみていた所、'77年3月7日08時27分迁安南で $M 6.0$ の余震が発生した。同じような例としては1976年11月15日の宁河付近で発生した $M 6.9$ の地震の前の9月1日に震央付近で発生した小地震の応力降下がやや大きかった。応力降下の大きい前震の分布をみると、宁河—唐山—卢龙を結ぶ線の南東側の地殻内である。これは唐山地震の震源規制、すなわち、地震断層（走向N41°傾斜85°）によると考えている。近年、邢台地震（1966年 $M 7.2$ ）・河間地震（1967年 $M 6.3$ ）・渤海地震（1979年 $M 7.4$ ）と华业の北東走向の断層は激烈活動期に入り、北東方の構造帶上での強烈地震の発生の危険は大であると朱は考えている。なお、北京付近の2地震観点と唐山の間で Q 値は唐山地震後1000～700下がった。

参考文献

- 中国科学院地球物理研究所編（1976）：中国強地震震中分布図。新华书店、北京。
- 中国科学院地球物理研究所（1977）：中国大地震簡目。PP. 29.
- 地图出版社（1974）：中华人民共和国分省地图集。新华书店、北京。PP 251.
- 丁文鏡（1978）：唐山地震強余震分布特徴和迁移規律。地质科学，1978年，[1期] 65-72.
- 卢造勋ほか（1978）：重力変化と海城地震。地球物理学報，21〔1〕，1-14-17.
- 魏光興ほか（1978）：华北地区大地震前地震の震窓区特徴。同上，21，〔3〕，213-217.
- 陈培善ほか（1978）：唐山地震前后京津唐張地区的応力場。同上，21，〔1〕，34-58.
- 郑治真・胡祚春（1978）：大地震前后平均断错的时空变化。同上，21，〔1〕，59-66.
- 李全林ほか（1978）： δ 値时空扫描—監視破壊地震孕育過程的一种手段。同上 21,〔2〕, 101 - 125.
- 马鸿庆（1978）：华北地区几次大地震前的 δ 値異常変化。同上, 21, [2], 126-141.
- 朱传镇・傅昌洪・罗胜利（1977）：唐山7.8級地震前後微震源参数。同上, 20, [4], 264 - 269.

- 石慧馨(1979)：中国石炭酸水出露带分布特征简介。地震地质1, [2], 87-93。
- 朱传镇・傅昌洪・罗胜利(1978)：华北地区震群活动与大地震关系的初步探讨。国家地震局地球物理研究所。パンフレット。PP.21。
- Volcanological Society of Japan (1971) : List of the World Active Volcanoes with map. P 97-98.
- 地震学会(1978)：1977年地震学会訪中代表团報告集。PP.155。
- 静岡県(1978)：静岡県訪中観察団報告書。PP.154。
- 尾池和夫(1978)：中国の地震予知。NHKブックス。PP.235。

3.3 重力と地殻変動

萩原幸男

唐山地震の地殻変動については他に詳細な報告があるので、ここに繰り返す必要はない。筆者の専門という意味で、重力変化について多少詳しく述べ、地殻変動については大灰厂地形変動の簡単な紹介をするに止める。

a) 重力測量

図3.3.1に重力測量ルートを示す。自動車によるルートを点線で、汽車によるルートを実線で示す。測定は1971年頃より開始され、年6回の割で実施してきた。1回の測定に15~20日を要するという。重力計はCG-2(カナダ製)を同時に2台使用している。2台の測定値の誤差は±70 μgalである。測定は双次三程法による。

図3.3.2に a) 北京-唐山, b) 北京-山海关, c) 北京-天津間の重力時間変化の様子を示す。天津は1970年以降、工業活動の振興に伴い、地盤沈下が目立ってきた。沈下速度は-10 cm/年であるという。これに対して重力変化は-0.35 mgal/mの勾配をもつから、この測定は妥当なものであるといえよう。中国における重力変化には、しばしば水準測量とのつき合わせが明らかでないため、測定値の精度について納得のいかないことがあるが、この場合のようにはっきりした証拠があれば、疑問をはさむ余地はない。

図3.3.3は北京・唐山付近一帯の重力変化のコンターである。a) は1971年から1975

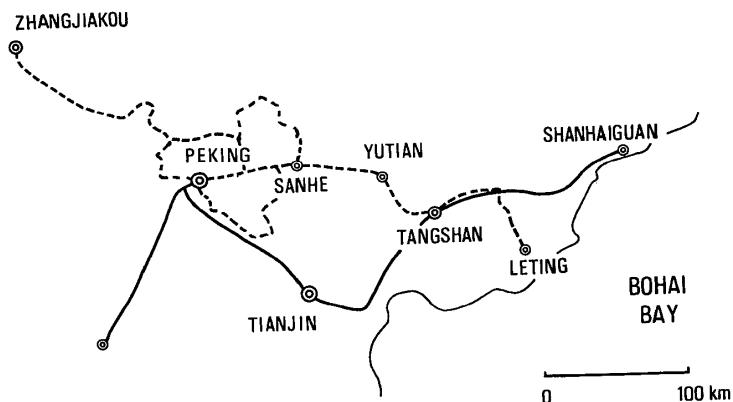


図3.3.1 重力測量ルート。点線は自動車によるルート、実線は汽車によるルート

年までの変化、唐山を中心に $80 \mu\text{gal}$ の重力増加が見られるが、 $\pm 70 \mu\text{gal}$ の誤差を考慮すると、あまり $80 \mu\text{gal}$ にとらわれる必要はないだろう。この時期は地殻隆起と一致するので、もしも重力増加に対する垂直変動の比をとると $+3.3 \text{ mgal/m}$ となる。この勾配はフリーエア勾配 -0.3 mgal/m に比べて符号は逆であるし、絶対値も 10 倍程大きい。この現象を説明しようと、コンラード面の陸起モデルを提唱しているが、私見としては $80 \mu\text{gal}$ にこだわることはないと考える。重力が幾分増加した程度と考えればよい。b) は 1975-1976 年の 1 年間の変化である。唐山を中心 $-20 \mu\text{gal}$ のコンターがあることから、a) の $80 \mu\text{gal}$ と一部相殺され、 $-20 \mu\text{gal}$ が誤差を示

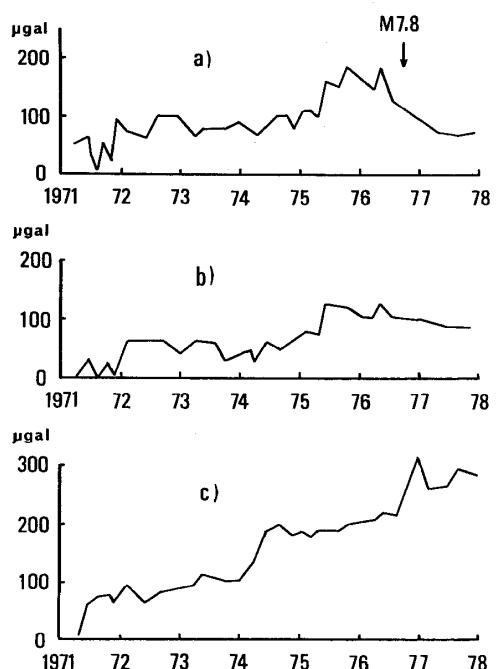


図 3.3.2 a) 北京—唐山, b) 北京—山海关, c) 北京—天津の重力時間変化

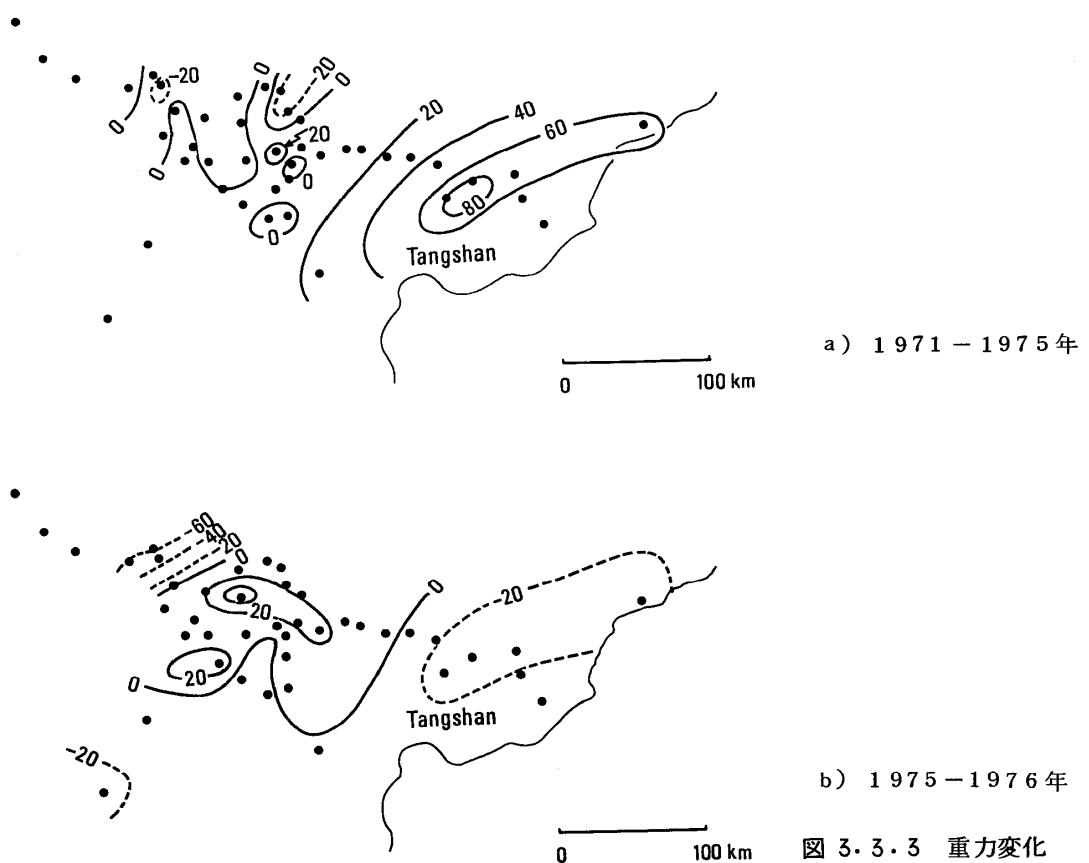


図 3.3.3 重力変化

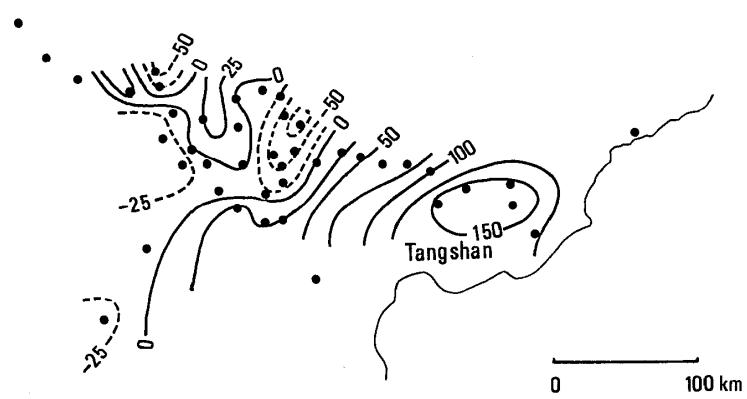


図 3.3.3

c) 1976年3月末—同年
7月初旬の重力変化。
単位 μgal

していることがわかる。

これに対して c) は 1976 年 3 月末から 7 月初旬までの 4 か月に満たない期間の重力変化である。 $150 \mu\text{gal}$ の重力増加は明らかに誤差の範囲を越えており、唐山地震の先行現象として認められる。またこのセンターはブーゲー異常のパターンと似ているというから興味深い。地震直前の地下水位の変化の影響については $0.1 \sim 0.15 \mu\text{gal}/\text{年}$ 程度であって、問題とならないことである。

b) 大灰厂地形变站

北京の西郊、八宝山断層をまたいだ観測所である。所員 8 名。1968 年設定。断層に伴う破碎帶は $250 \sim 300 \text{ m}$ の幅をもつが、観測所付近では 12 m と狭くなっている。断層をまたぐ建物と、測定器の配置を図 3.3.4 に示す。図中の 1 は水準仪 Zeiss Ni 004 の位置で、断層をはさんで配置された 4 個の固定標尺により、距離 26 m の短水准測定をくり返している。

2 は水管傾斜計で、長さ 24 m 、目視観測である。3 は伸縮計で、ともに平行な位置に設置されている。シリカ棒の伸縮を干渉縞によって $\pm 0.5 \mu$ まで測定する。4 と 5 はそれぞれ断層上盤および下盤側に設置された水平振子傾斜計で $\pm 0.01 \text{ 秒}$ 、光学記録をしている。この断層は垂直運動だけで水平ずれを起こさないからと、水平運動をチェックする装置をもたない。水平ずれがないと断定する前にチェックする装置を備えるべきであると思う。

図 3.3.5 は唐山地震前の傾斜変化を

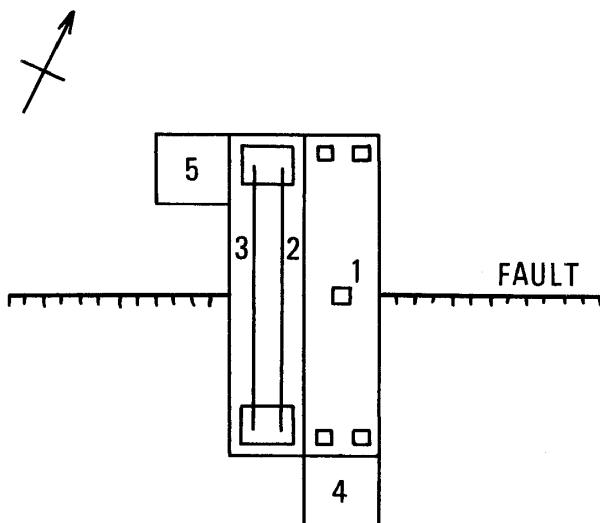


図 3.3.4 大灰厂地形变站における測定器の配置

- 1) 水准仪, 2) 水管傾斜計, 3) 伸縮計
- 4) 断層上盤側の水平振子傾斜計,
- 5) 下盤側の水平振子傾斜計

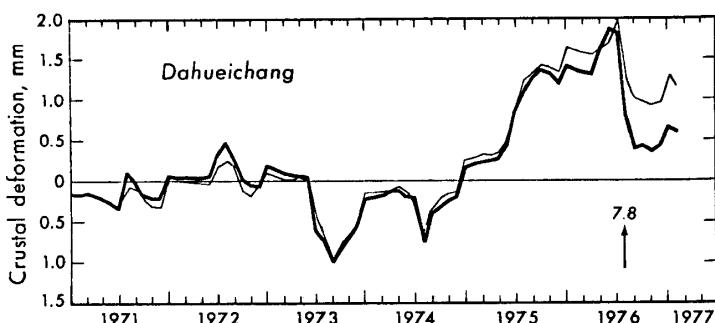


図 3.3.5 唐山地震前後の傾斜変化。太線は短水准、細線は水管傾斜計による

示す。太線は短水准、細線は水管傾斜計による結果である。明瞭な地震先行現象がみられる。大灰厂は震央から 180 km も離れているにもかかわらず、八宝山断層は動いている。こういうところ、スケールの小さい複雑な地質構造をもつ日本の地殻と異なった。中国の地質構造のスケールの大きさといったものを感じさせられる。広域にわたって地質構造が均質であるため、中国における地震先行現象は、一般に、日本におけるそれと比較して、広域に出現しつつオーダーが大きいのかも知れない。

北京の北西を走る長さ 110 km の八宝山断層の微弱な動きをとらえることは、地震災害から首都を防衛する極めて重要な作業であり、大灰厂地形変电站は近隣の観測所とともに重大な任務をもっている。日本の観測所もそれぞれ設置の目的をもっているものの、次第に多目的化され、一本の断層の動きだけをチェックするという程、目的をしぼってはいない。中国が地震予知先進国である理由の一つはここにあると思う。

3.4 地磁気・地電流

力 武 常 次

a) 地球物理研究所

北京の国家地震局地球物理研究所においては、第 5 研究室が地磁気・地電流分野を担当している。この研究室の研究項目は

- 1) 地震発生時の地磁気変化
- 2) 電気抵抗変化
- 3) テレメータによるプロトン磁力計集中観測
- 4) ピエゾ磁気

などである。

特に項目 3) については、乘富（1978）によって報告された観測点はさらに増加していく 7 点に達し、さらに 9 点の追加が計画されている。観測点の分布は図 3.4.1 のようになっていて、毎分の全磁力観測値が北京の科学院にテレメータされている。観測精度に関する質問に対しては必ずしも明快な解答はなかったが、標準偏差はおよそ 1 γ 程度らしい。

なお、北京周辺には 116 点の磁気点があって、毎月 1 回の全磁力測量が実施されている



図 3.4.1 テレメーターによる北京周辺のプロトントン磁力計観測点(黒点)

のことである。

b) 北京地震基准台

北京地震基准台における地磁気・地電流観測については、乘富(1978)につけ加えることはほとんどない。強いてあげるならば、現在でも Gauss-Lamont 法による絶対測定が週2回行なわれていること、北京地下鉄開設に伴い地磁気変化計記録にノイズがあらわれていることなどであろう。この地磁気観測は、各国の標準的地磁気観測所のそれに比してひけをとらない立派なレベルに達しているといえよう。

筆者らの調査団が訪問したときには、ポータブル・プロトン磁力計の検定が行なわれていた。

c) 唐山地震に伴う電磁気的変化

調査団は河北省地震局のメンバーから、唐山地震関係の報告をきくことができたが、胡長和は特に前兆現象の特徴について述べた。土地比抵抗(电阻率)にも長期的異常がみられた。

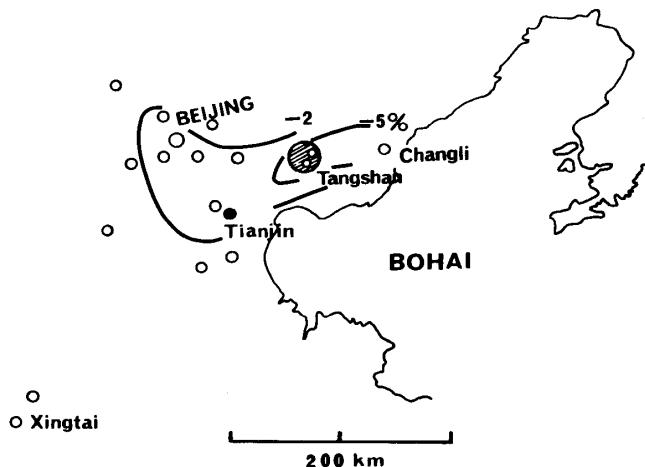


図 3.4.2 唐山地震に先行した土地比抵抗変化
○印は観測点
◎印は震央を示す(赵・钱, 1978)

中国の地震予知の現状

ここでは趙・錢（1978）の論文より、唐山地区の比抵抗変化の図を引用しておく（図3.4.2）。この変化は地震前2-3年に発生し、岩石試料についての実験の結果を参照すると、震源域に 3×10^{-5} の圧縮歪が発生したこととなるという。

参考文献

- (1) 乘富一雄（1978）：中国における電磁気測定と地震に伴う電磁気現象。1977年地震学会訪中代表団報告集、地震学会、57-87。
- (2) 趙玉・林・錢復業（1978）：唐山7.8級強震前震中周囲形变電（電）阻率的下降異常。地球物理学报、21, 181-190。

3.5 唐山地震の地表地震断層

松田時彦

1976年7月28日の唐山地震の本震と最大余震にそれぞれ伴って、二系統の地表地震断層があらわれた。以下、これらの地震断層について、楊理華・季欽祖両氏の講演内容に、Qiu (1976), 號ほか (1977), Wang (1978), Butler et al. (1978) を加えて紹介する。これらの文献のうち、號ほか (1977) には唐山地震の地質学的環境について多くの記述がある。さいわい、駒沢大学の柳田誠・柳田鐵雄両氏によって同論文が和訳されてこの報告集に加えられた。唐山付近のネオテクトニクスや地震断層についての詳細はそれを参照願いたい。

7月28日3時42分に本震が発生した。震源は唐山市直下、あるいはそのやや西南方で、深さ約15km, マグニチュードは7.8 (Butler et al. 1978によると M_s 7.7) と

表 3.5.1 唐山地震の発震機構と地表地震断層
(楊理華・季欽祖の講演などによる)

地 震	発震時	マ グ ニ チ ュ ード	震 央	深さ km	発震機構			地表地震断層			
					断層型	断層面の走向	P軸の方位	長さ km	走向	横ずれ	上下変位
本震	76.7.28 3時42分	7.8 ¹⁾	唐 山	15	横ずれ	N 30°E	N 74.8°E	8	NNE	右1.5m ²⁾	西側隆起 1.0 m
最大 余震	76.7.28 18時45分	7.1 ³⁾	滦 县	15	横ずれ ³⁾		N 69°E	6	NNW および NNE	左ずれ 数10 cm および右 ずれ	
余震	76.11.15	6.9	宁 河	27	横ずれ		N 106°E	(地表地震断層なし)			

1) Butler et al. 1978によると、 $M_s = 7.7$ 、震央は唐山の南西。

2) 号ほか、1977によると、最大右ずれ2~3m、垂直変位は0.7~1m。

3) Butler et al. 1978によると $M_s = 7.2$ 、縦ずれ(正断層)、断層の走向N 12°E。

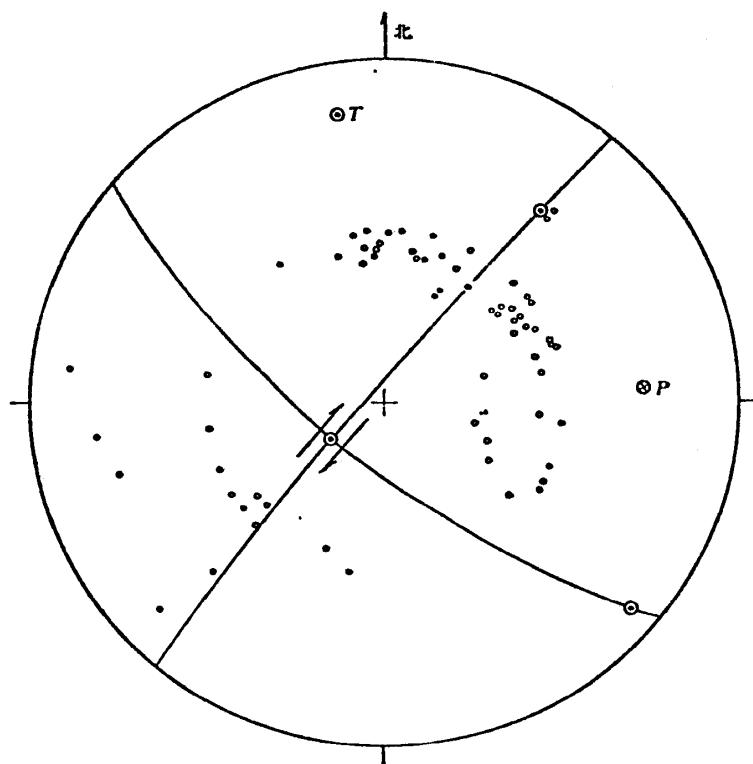


図 3.5.1 唐山地震
(1976年7月28日,
 $M 7.8$) の P 波初動分布.
黒丸は押し, 白丸
は引き. (Qiu, 1976
より引用)

推定されている. 発震機構は表 3.5.1 に示すように中国の研究者によるとほぼ $N 30^{\circ}E$ の走向をもつ右横ずれ型であり, Butler *et al.* (1978) によると断層面は走向 $N 20^{\circ}E \sim N 40^{\circ}E$ で垂直であり bilateral の右ずれではじまり, その 11 秒・19 秒後にその南方で逆断層性の運動が生じた.

この本震発生の約 15 時間後に, 本震の震央の北東約 70 km の滦平付近に $M 7.1$ (Butler *et al.* 1978) によると $M_s 7.2$ が生じた. これは縦ずれ成分を伴う北西走向の左ずれ断層と考えられているが, Butler *et al.* (1978) は表面波の資料をも考慮して, やや斜め

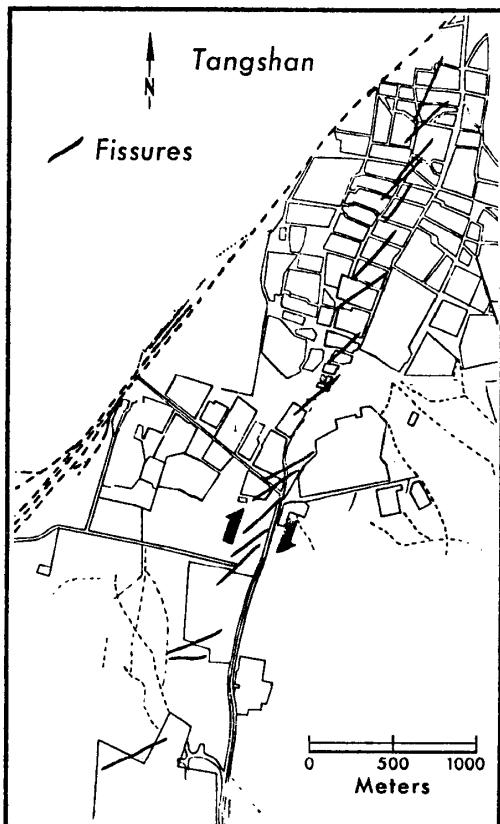


図 3.5.2 (a) 唐山市内にあらわれた唐山地震
断層 Wang (1978) による.

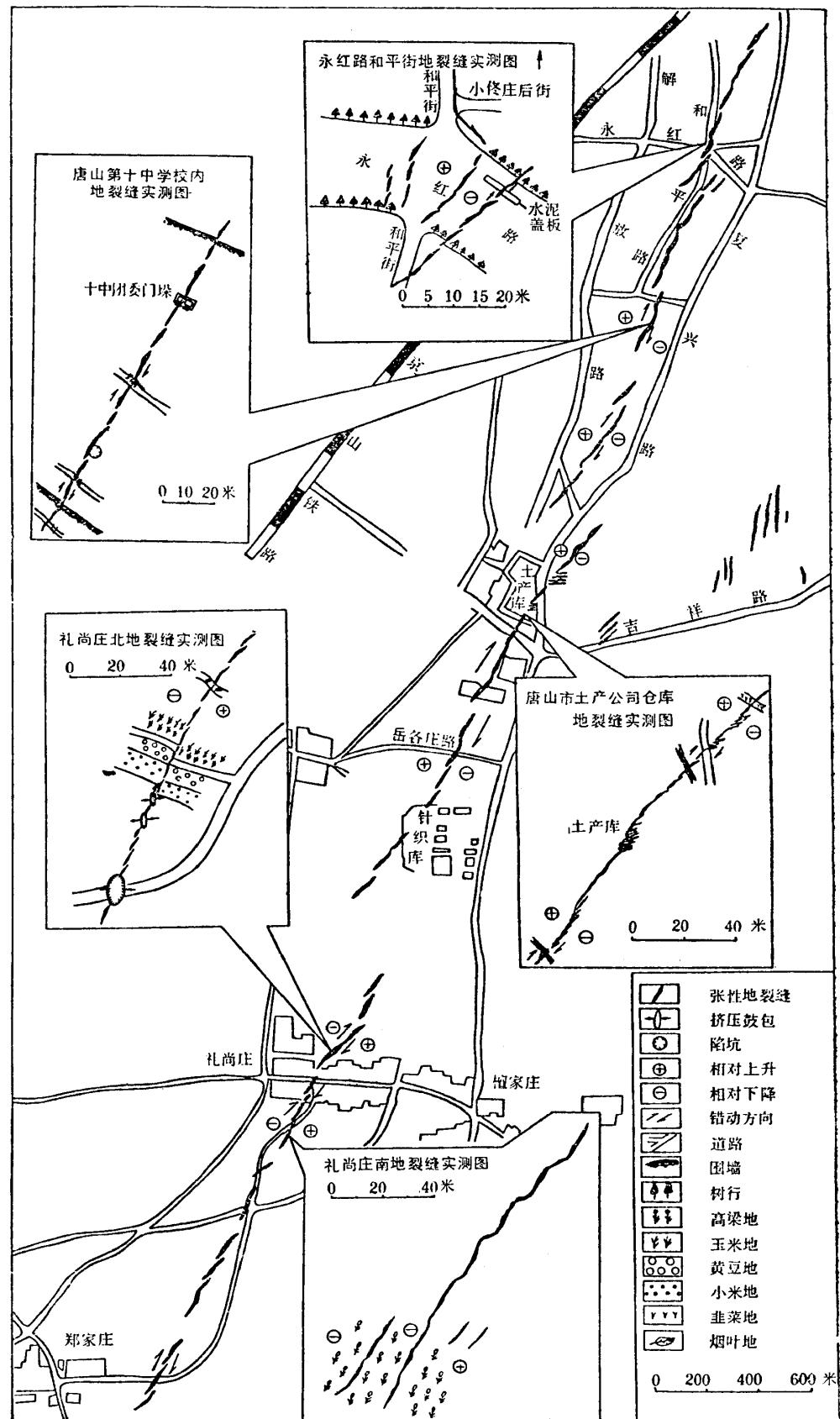


図 3.5.2(b) 號ほか (1977) による

の正断層としている。

いずれにしても、発震機構から推定される震源断層のずれのむきも、以下に述べる地表地震断層のずれのむきも、また被害分布域の長軸のむきも、本震と上記の余震とでは対照的に異なっていた。

唐山地震の本震に伴う地表地震断層は、唐山市の中央部を北北東—南南西に貫いた（図3.5.2）。この断層は図（號ほか1977の第7図）にみるように、主

に杉型に配置する多くの地割れ帯からなり、道路や街路樹を右ずれに約1.5mくいちがわせた（號ほか1977によるとくいちがいの量は2-3m～数10cm）。垂直成分は西側隆起約1m（號ほか1977によると0.7～1m）であった。唐山地域は概して厚い第四紀層が発達するところであるが、その第四紀層は唐山付近地下に推定される断層を境にして著しく層厚が変る（西北側が厚い。號ほか1977の図3参照）。今回の唐山地震の地震断層はほぼ唐山—古冶断裂（號ほか1977）の南西部に一致している。

上述の唐山市の地震断層とは別に本震の約15時間後に滦县付近に生じた大きな余震に伴って、図3.5.3（Wang 1978のFig. 3）に示すような北北西の左ずれの断層と北北東の右ずれの断層があらわれた。全長約6kmで横ずれ変位量は数10cmであった。被害地域は南北にのびていて、これらの地表地震断層ののびの方向と調和的であった。

なお、同年11月15日に、唐山の南西方、宁河地域にM6.9の余震が生じた。被害分布は北西—南東にのびていて、その方向の断層の活動が推定されるが、地表には地震断層はみられなかった。

上述のように唐山地震の地表地震断層も、発震機構と同様、最大圧縮主応力軸が東西ないしそれよりやや北東—南西むきであることを示している。これは华北地域の地殻応力場の通性と一致している。

参考文献

號順氏・李志義・程紹平・陳獻程・陳孝德・楊主恩・李如成（1977）：唐山地震区域構造背景和发震

- 模式的討論。地質科学, [4], 305-321 (柳田鐵雄・柳田誠訳, 本号151~169頁参照)
- Butler, R.B., Stewart, G.S., and Kanamori, H. (1978) : The July 27, 1976 Tangshan, China Earthquake - A Complex Sequence of Intraplate Events submitted to Bull. Seism. Soc. Am.
- Qiu, Q (1976) : On the background and seismic activity of the M=7.8 Tangshan earthquake, Hopei Province of July 28, 1976. *Acta. Geophys. Sinica*, 19, 259-269 (English translation: *Chinese Geophysics*, vol 1, no. 1. p. 67-78).
- Wang, Chi-yuen (1978) Some aspect of the Tangshan (China) Earthquake of 1976. *Chinese Geophysics*, vol. 1, no. 1, 157-172.
- 杨理华 (1978) : 唐山地震区现代构造力場. 1978年9月22日, 日中学術交流報告会(北京)において発表.
- 季欽祖 (1978) : 唐山地震メカニズムと应力場. 1978年9月22日, 日中学術交流報告会(北京)において発表.

3.6 地熱及び古地磁気など

上田 誠也

筆者は今回の訪中団の中ではやや異分子であった。その理由の一つは筆者の興味が特に“地震予知”にあったわけではなく、中国の固体地球科学全般、なかんずく、地殻熱流量や、古地磁気学、テクトニクス研究などの実状を知りたい、そしてできれば将来の国際的協力研究の可能性をさぐりたいという点にあったことである。もう一つの理由は、日程の都合もあって、他の団員と行動を共にしたのは訪中初めの二日間のみであって、あと数日、ひとり、

表 3.6.1 中国科学院地質研究所
地熱研究室のメンバー

Wang Chi-young (Director of the Division)	汪集旸
Chen Mo-hsieng (Director of the Division)	陈墨香
Wang Chi-an	汪綱安
Teng Hsiao	邓孝
Wang Chun	王钧
Shen Hsian-chieh	沈显杰
Hsiung Liang-ping	熊亮萍
Mao Li-peh	毛立本
Fan Chih-cheng	樊志成
Wang Ko-shan	黄歌山
Yang Shu-chen	杨淑贞
Lu Hsiu-wen	陸秀文
Lu Shih-yu	陸出玉
Chang Wen-jen	張文佑
Shao Hai-hui	邵海輝
Chang Jung-yen	張容艳

北京にとどまって帰国したことである。一週間というごく短期の滞在のため、所期の目的を達したとは到底いえないが、それでも多くの新しい知見を得たおもいがするので、以下にその一端を



図 3.6.1 地熱研究室の人々
左から二人目は講義の通訳をしてくれた常子文先生（“新しい地球観”的ほんやく者でもある）。

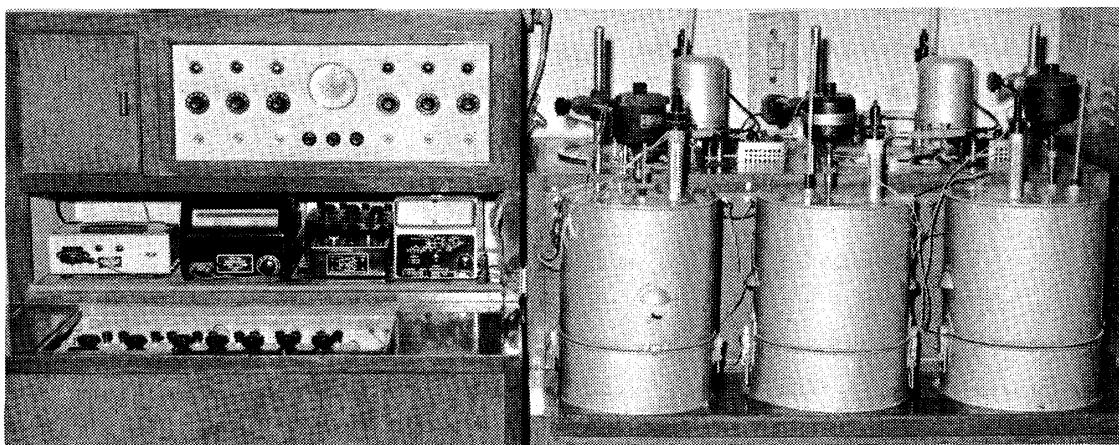


図 3.6.2 热伝導測定装置

紹介したい。

現在までのところ、中国からは、地殻熱流量測定結果は一つも“公表”（ふつうわれわれの眼に触れる形では）されてはいない。広大な中国大陸やその周辺海域の熱流量分布がどうなっているのかは、筆者にとって大きな興味があることなので、もし中国の科学者もこの点に興味をもっているのなら、日中（あるいはこれに米も加えて）協同で観測を始めてはどうだろうか、と話をもちかけてみようと考えたのである。ところが行ってみて驚いたことには、かの地では既にこの研究はかなり進んでいた。中国科学院地质研究所には、地熱研究室（地熱組）があり、汪集旸、陳墨香の二人を長とし、女性数名を含む16名のチームが、主として华北地区を中心に精力的な測定を実施しているのである。表3.6.1及び図3.6.1はそのメンバーである。

彼らは、华北地域において、探鉱用ボーリングや、特別な観測孔などを用いて、300点あまりの地温測定を行なっている。このうち、種々の理由から、真の地温が得られたとされたものは、24点であるという。（筆者の経験からみてこれは極めて良心的な観測態度をあらわしていると思われる）。熱伝導度も多数の岩芯試料について、分割棒方式によって測定されている。図3.6.2は、その装置であり、極く良好な稼動状態にあるように見えた。

これらの測定結果は、1977年12月付のガリ版刷の報告書（中国科学院地质研究所地热组、1977）（未だやや非公式のものらしい）にまとめられている。図3.6.3は、この報告書からの写しであり、熱流量値のみならず、多数の地温測定結果から推定された深さ300mでの等温線も示されている。概して、华北台地では沈降部で熱流量は高く、隆起帶や山地において低い低い傾向があるように見える。しかし华北平原では、基盤の上昇部でより高温となっているという。又、図3.6.3右下方の測点No.24では2.5HFU程度の高い熱流量が示されているが、これはここを南北にはしる鄰庐断裂帯という一大活断層（1688年にM=8.5地震）に沿うところである。

中国の地震予知の現状

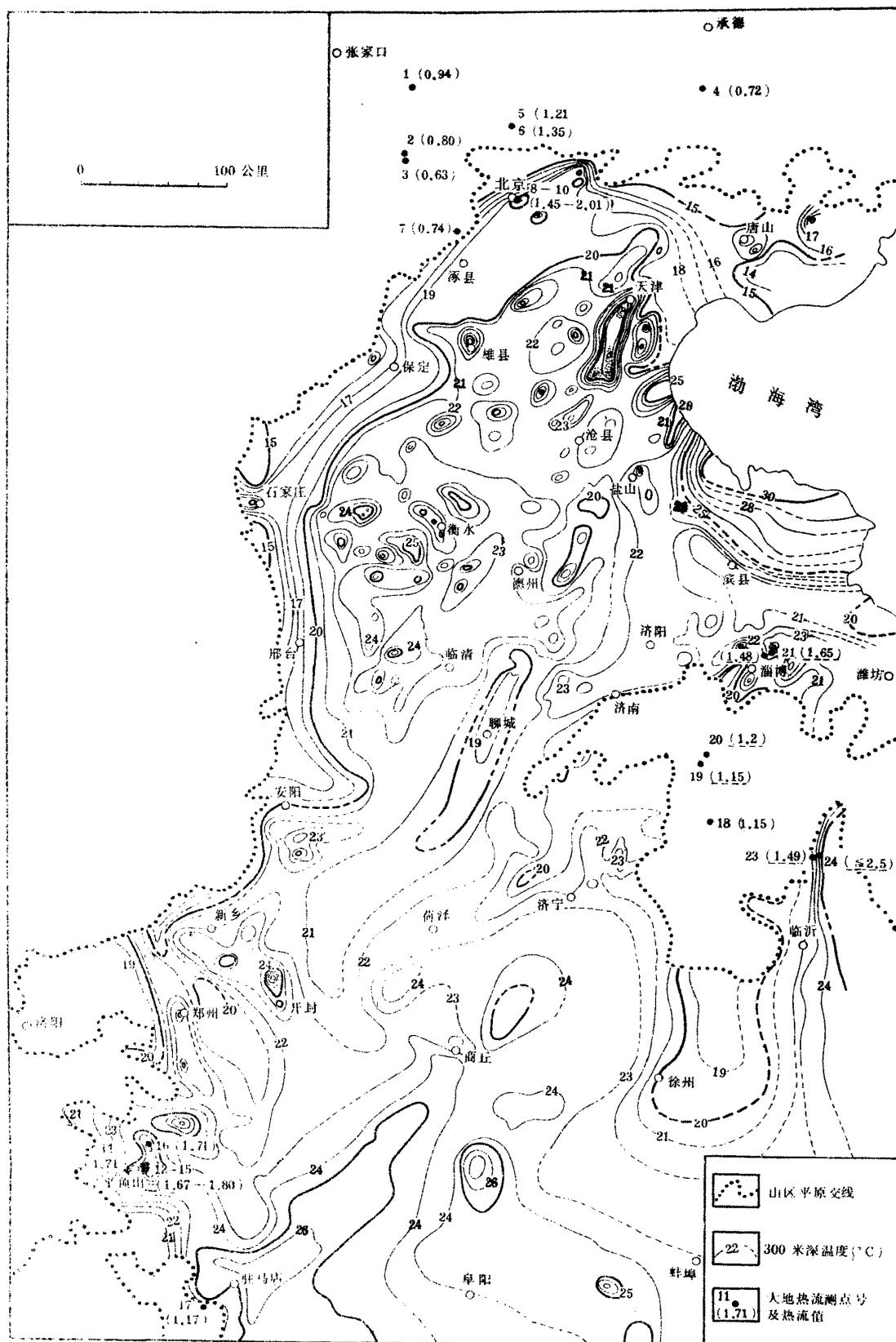


図 3.6.3 华北地熱図

彼等の観測事業は明らかに、地震予知計画の一環としての色彩が強く、定常値としての地温ないしは熱流量のみならず、その時間変化の可能性をも追求しているようであった。熱現象は本来、おそいので、大して地震予知の役にはたつまいと漠然と考えていた筆者にとっては、これはなかなか啓蒙的であった。測定者自身が犠牲者となられたため、確認はできていないしながらも、遺された記録からは、かの唐山地震の数日前に、震央距離13kmの地点での井戸水の温度は 0.4°C 上昇したとのことであった。単なる熱伝導ではなく、地下水の流動にともなう熱輸送過程を考えれば、このようなことも十分あり得ることかもしれない。

陸上熱流量測定の状況はおおむね以上のとくであり、今後も大いに進めてゆくとのことであったので、その結果を期待したい。しかし、海洋地域での測定は未だ実行されていないようである。海洋地学は、青岛と、广州にある海洋研究所の担当のことであり、筆者はそれらの研究所を訪ねる時間がなかった。そこで、北京の地质研究所で、講義をさせて頂いた折にも、また、所長張文佑先生とお会いした折にもその重要性を強調しておいた。実は、昨年(1978)筆者の研究室に滞在していた Lamont 研究所の R. Anderson 博士が中国とのこの面での協同観測(たとえば南海での)を熱望していたし、一方、筆者らは、大陸棚地域のような浅海での熱流量定法の開発によくメドがつきかけてきたので、広大な黄海・東海などでの測定をのぞんでいたからである。北京の方々はそれは大いに興味があるから、海洋研究所の研究者と連絡をしてみようといっておられた。ところが最近、聞いたところでは、われわれの訪中の直後、アメリカの海洋学関係の訪中があり、Lamont 研究所の Talwani 所長は、1979年に米中協同で南海の熱流量測定を実施するという話をつけてきたとのことである。筆者の前宣伝が有効だったのだとラモントの連中には感謝はされたが、何となくトンビに油揚げの感もなくはない。しかし、このような動きから、将来の国際協力研究が促進されるのであろうことを思えば何といってもよろこぶべきことであろう。

古地磁気学についても、地质研究所に程国良先生を中心とする一つのグループがあつて研究を進めている。スピナー磁力計や、帯磁率測定装置、電気炉などが備えてあったが、いずれも東欧製のもので、ピカピカの新品のようにみえた。今までのところは、天津西北部の先カンブリア時代(Sinian)の岩石、チベットの中生代岩(朱ら、1977)及び、各地の第四紀湖底堆積物(程ら、1978)、吉林隕石(程国良、1978)などの研究が主なものとのことであった。Sinian 岩石については、未公表らしかったが、16億年～8億年BPについての極移動曲線が求められ、それは、北米大陸からのものと、約 40° 経度がずれないと、程国良氏が語ってくれた。チベットの中生代岩石については、インドプレートとの衝突問題、第四紀のものについては磁気層序学的な応用が目的である。何といっても北京から車で1時間もゆくと、「あれがジュラ紀、あれが二疊紀、そしてあれが先カンブリア」という具合であり、大陸のテクトニクスを理解するために、古磁気学が今後果し得るポテンシャルは極めて高いと思われる。アジア大陸は多くの小プレートの離散集合のくり返しによ

って今日の形となったかも知れないからである。

プレートといえば、筆者の接した地球科学者諸氏はみな、プレート・テクトニクスには大きな関心と、積極的な態度をもっているように思われる。拙著「地球の科学」、「新しい地球観」はいずれも中国語訳が出版されており、お世辞かもしれないが「best seller」とのことであった。ただ、主として海での研究から生れたプレート論を、大陸の研究にどううけとめるか、については多くの人々は「今後の問題だ」といっていた。それは全くその通りだと思われる。ちなみに、地质研究所の張文佑先生は、テクトニクスの権威であるとのことで、話を聞いても立派な学者であると感ぜられたが、「これを読んで下さい」といって“断块”与“板块”（张文佑ら, 1978）という別刷を下さった。板块とはプレートのことであるが、断块とは、どうやら断裂によってかこまれた単位で、mini-plateとでもいうべきものかもしれない。プレート論を大陸に拡張するための必要概念としてこの断块が提唱されているらしいことが、読めない中国語をにらんでいるうちに筆者が到達した推定である。このような問題についても、さかんに議論が行なわれなければ、われわれは大陸を（したがってそこでの地震をも）理解することはできないかも知れない。「地震予知ばかり協力するといつてもダメですよ。もっとひろく視野をひろげなければ」とは、新しい中国科学院・地球物理研究所（国家地震局所属のそれとは別に新しくできたばかり）づくりにあたっているといわれた傅承義（C.Y.Fu）老先生のことばであり、筆者はわが意を得たりと握手をしたのである。

参考文献

- (1) 中国科学院地质研究所地热组(1977)：华北平原及其近邻地区的地温特征。1977. 12.
- (2) 朱湘元・刘椿・叶素・林金录(1977)：西藏林周地区紅层的天然剩余磁性和印度洋板块的北向运动。地质科学, 44-51.
- (3) 程国良・林金录・李素玲・梁其平(1978)：“泥河湾层”的古地磁気初步研究。地球科学, 247-257.
- (4) 程国良(1978)：吉林石的磁性研究。科学通报, 第23卷, 112-113.
- (5) 张文佑・叶洪・钟(1978)：“断块”与“板块”。中国科学, 195-211.

4 辽寧省の地震予知活動

4.1 1975年海城地震について

高木 章雄

a) はじめに

1975年顧功叙先生を団長とする中国地震考察団が来日し、中国における地震予知事業の現状について詳しく紹介された。その中で1975年2月4日の海城地震について朱凤鸣先生によりこの地震の長期中期短期临震の各段階に応じて予報が適確に出され、防災減災の面で大きな成果を上げた経過が報告された。この報告は日本の地震学関係者に深い感動を与えたと同時に中国の地震予知の方法に関する強い関心が持たれるに至った。しかも、この地震以来中国ではM7クラスの地震が続けて発生したが最初の地震予知に成功した海城地震と同様ほとんどの地震の予知がなされたのである。それらの地震は次の通りである。

海城地震（辽宁省）	1975.2.4	M=7.3	直前予報成功
龙陵地震（云南省）	1976.5.29	M=7.3	直前予報成功
唐山地震（河北省）	1976.7.28	M=7.8	直前予報のみ失敗
松潘・平武地震（四川省）	1976.8.16	M=7.2	直前予報成功
盐源・宁蒗地震（云南-四川）	1976.11.7	M=7.6	直前予報成功

その後、日中地震学者の交流のたびにこれらの地震の予知に関する詳細な経過が報告され、われわれ日本地震予知研究者は中国の地震予知について、より一層の興味を持つに至った。特に多くの報告から予知成功の経過が理解されたが、われわれ日本地震学者にとり、中国の地震の直前異常の現象が比較的広域に現われること、そのシグナルが大きいこと、また刻々と変化する直前異常をいかに適確に解釈し判断したかということについて、強い関心が持たれた。今回、中国科学院から東京工業大学力武教授に招請状が参り、我々は力武教授を団長とする地震訪中団の一員として1975年海城地震、1976年、松潘・平武地震の震央付近を親しく訪問する機会を得た。力武地震訪中団は特にこれらの震央域にある専門及び大众観測点を訪問し直前異常現象の記録、その解釈ならびに判定に至る過程を見聞し予知成功に至る経過を深く理解することを大きな目的の一つとした。その理由は、一般に一つの大きな地震が起こった後にその発生に至る全経過を各種データにより整理されるとその直前現象の解釈は比較的容易であると考え易いが、各時点毎にそれ迄の現象の変化をとらえ、次の段階を考える場合、つまり現在迄の現象の推移から現在はその地震がはぐくまれている何時の段階に相当するかを予測することは大変難しいことであるが、この難点を見事に解決しつつある中国の地震予知の方法について強い関心があったからである。

海城地震に関しては既に述べたように1975年中国地震考察団によるくわしい報告や、また鈴木東北大学教授を団長とする1977年地震学会訪中団の各専門分野の研究者による報告があるので、それらのくわしい報告と重複せずに、今回、沈阳地震基准台を始めとして震

央域の断層、異常現象が観測された井戸（海城县牌楼）、石硼峪地震台（营口市）、大众观测点の地质102队等を訪問して得られた新しい知見等を加えて海城地震の予知成功の背景について述べる。

b) 实践—认识（認識）—再实践—再认识

1975年海城地震の予報の経過

1975年海城地震の予報の経過を概観するために表4.1.1にそのフローチャートを示し

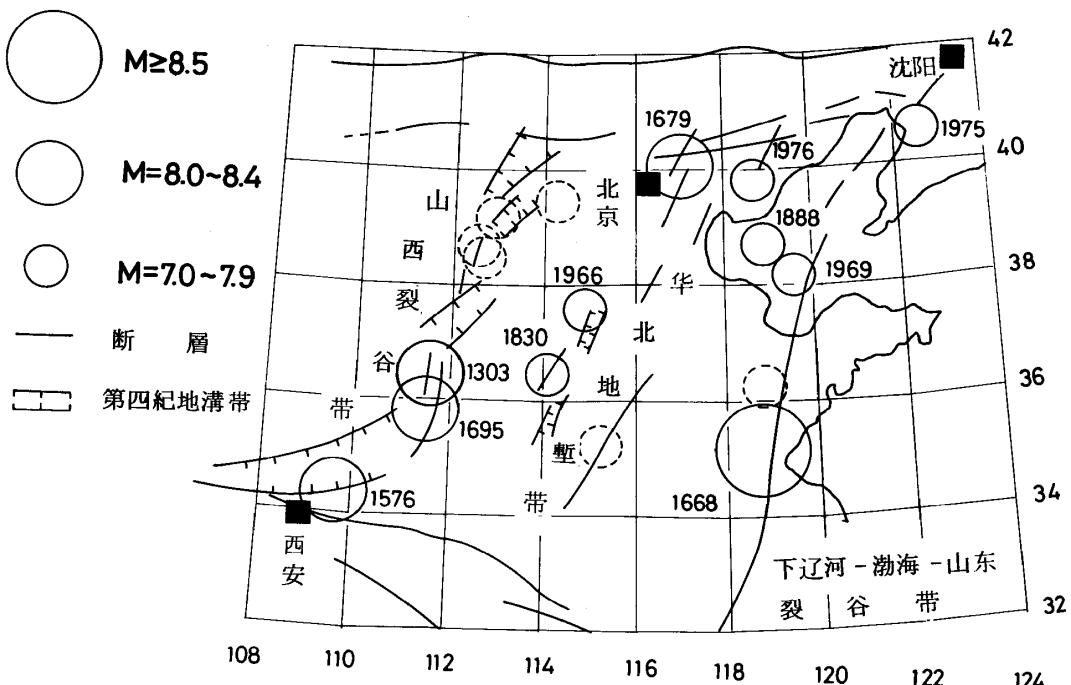


図 4.1.1 大地震震央分布図

てある。この表示から地震予知への道がいかに苦難に満ちていたかが理解できる。

b)-1 長期预报

1966年河北省邢台地区に強い地震が発生した。この地震発生の意味を深く洞察した地震学者の意見は、政府指導者に深く理解され、その結果中国の地震事業が出発したのである。1969年渤海に発生した $M = 7.4$ の地震は地震予

発生した $M = 7.4$ の地震は地震予知を発展させつつあった地震学者地域の地震発生の推移についても

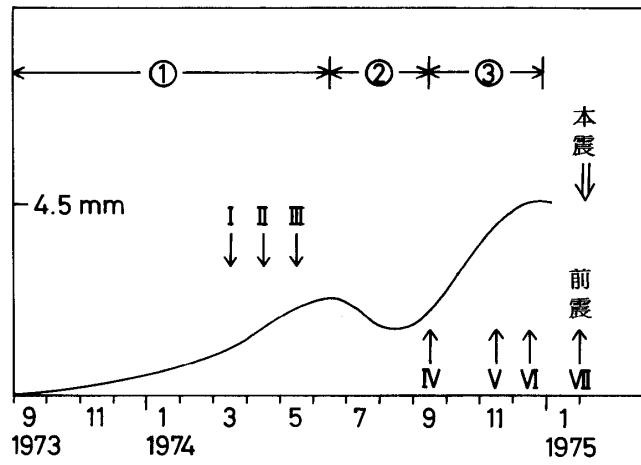
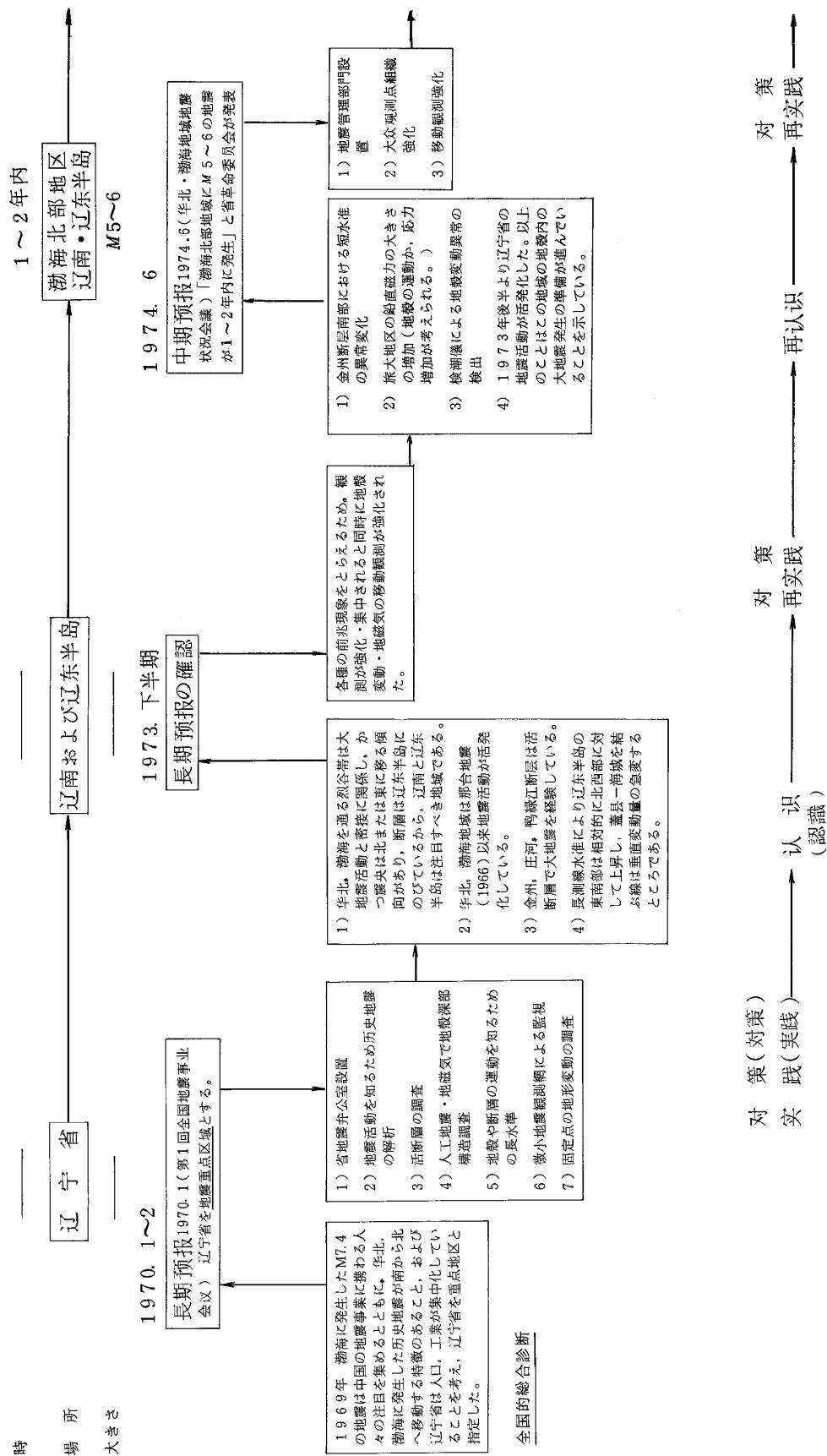


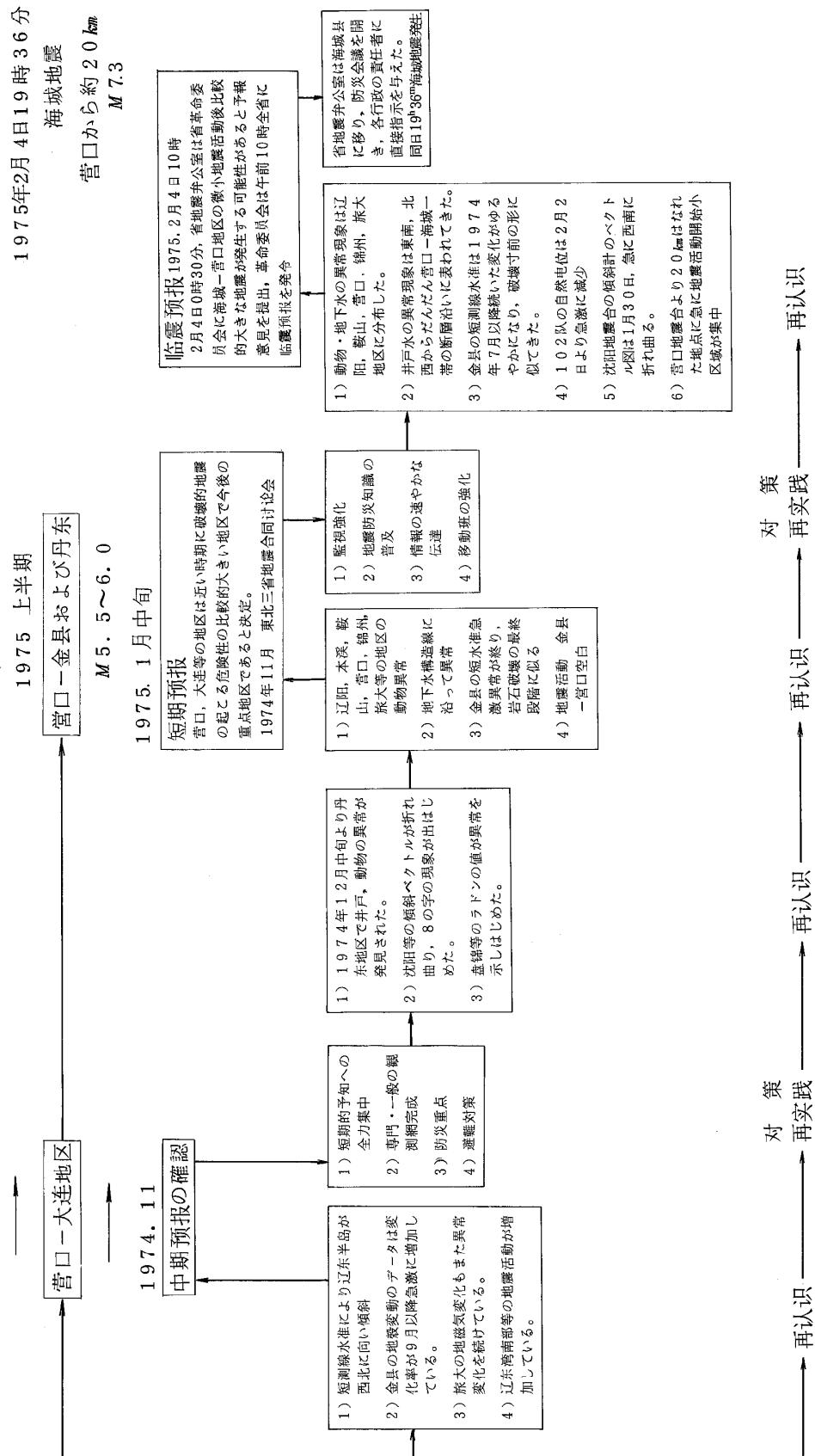
図 4.1.2 金具における短測線水準測量の結果

知を発展させつつあった地震学者の注目を集めた。それは既に中国の歴史地震が整理され、各地域の地震発生の推移についてある傾向が存在することが認識されていたからである。表4.

表 4.1.1 1975年海城地震の予報の経過



中国の甚震予知の現状



1.2は山西、华北、渤海の各地域に於ける $M = 7$ クラス以上の地震の活動を示したものである。

表4.1.2 华北地域における $M = 7$ クラス以上の地震

山西地区

年	月日		φ	λ	M
1303	9.17	山西洪洞	36.3	111.7	8.0
1556	1.23	陕西华县	34.5	109.7	8.0
1695	5.18	山西临汾	36.0	111.5	8.0

华北地区

1679	9.2	华北三河平谷	40.0	117.0	8.0
1830	6.12	华北磁县西	36.4	114.2	7½
1966	3.22	华北邢台	37.8	115.1	7.2
(1976)	7.28	华北唐山	39.7	118.4	7.8)

渤海地区

1668	7.25	山东郯城	35.3	118.6	8½
1888	6.13	渤海湾	38.5	119.0	7½
1969	7.18	渤海湾	38.2	119.4	7.4
(1975)	2.4	海城县	40.5	122.6	7.3)

これらの地震の震央は図4.1.1に示されている。それぞれの地域の地震発生の推移は山西裂谷帯、华北地壘帯、下辽河—渤海—山东裂谷帯に沿ってほぼ南から北へ移動する傾向がありかつその地震域はほとんど重なり合わないことがわかった。また1969年渤海地震の北方は人口、工業の集中化した辽宁省であるので1970年第1回全国地震事業会议にて地震重点監視区域として指定された。そこで直ちに対策が行なわれ多くの基礎調査研究観測が実施され、1973年後半に地震活動の特性、長測線水准等の結果から長期的予知としての地震重点監視区域から改めて長期预报として確認された。

b)-2 中期预报

このように、地震発生に関する長期预报が確立したのでさらにくわしいことを調べるため、移動班の投入等観測が強化された。その結果、幾つかの新しい事実がわかった。特に金州断層の南、金县に置かれた東西580mの長さの短測線水准測量の結果は図4.1.2の中の実線で示されているように1973年9月から1974年6月までの9カ月間に約2.5mmの変動を示し、その前約2カ年間の変動量約0.2mmと比較し急激な異常を示しており、また、辽宁省南部の地震活動は1973年末から小さい地震の活動度が急激に高くなった等の事から1974年中期预报が出されるに至った。この中期预报では予報区域が渤海北部と縮められ、同時に1~2年内、 $M=5\sim 6$ と時期、マグニチュードも予報された。この根拠については総合的判断であるということであった。後で述べるように金县短水准の異常に伴い渤海北部地域周辺で群発性の小さい地震活動が三地域に発生した事等が有力な判定材料と考えられるが、その確度はそれ程高いものとは考えられない。なぜならばこの中期预报と共に移動観測が強

化され、かつ大众観測網が強力に組織され中期预报を確認する観測研究が実施され、震源域をより限定する努力がなされたからである。その結果、図4.1.2に示すように金县の短測線水準は9月以降急激に傾斜変動が始まった事、金县西方渤海湾に群発小地震活動等があった等の事から1974年11月、中期预报を確認すると共に震源域は营口ー大连地区とせばめられた。このことは金县の短測線水準のデータが相当重要視されたものと思われる。以上のように重点地域指定から見直しを行ない長期预报として確認し、さらに中期预报を発令した後もその見直しを行ないつつ予報を進める方法はまさに実践－认识－再実践－再认识という中国の方法そのものが地震予知の手法として用いられているのである。

また、地震発生を予想される場所を割り合いで広範囲に指定した長期预报から中期预报へと向かうに従い着実に震源域をより狭く限定化する手法は短期・临震の直前異常現象の監視網を高密化することを可能とし、その結果、短期的予知のための異常現象の把握に力を集中することができ、直前予報の確度を高めるのに大きな役割を果たしているものと考えられる。

b)-3 短期预报

1975年1月中旬国家地震局は全国地震状況会议にて辽东半岛の異常現象を総合的に分析し表4.1.1のように短期预报を出した。その理由は

- (1) 動物の異常現象が図4.1.3の黒丸に示される遼陽・本溪・鞍山・营口・錦州・旅大の地区に見られること、
- (2) 地下水異常が断層線に沿って現われてきたこと、
- (3) 金县の短測線水準のデータによれば図4.1.2のようすに1974年9月から続いていた変化は1974年12月、東西580mの測線で4.5mmの最

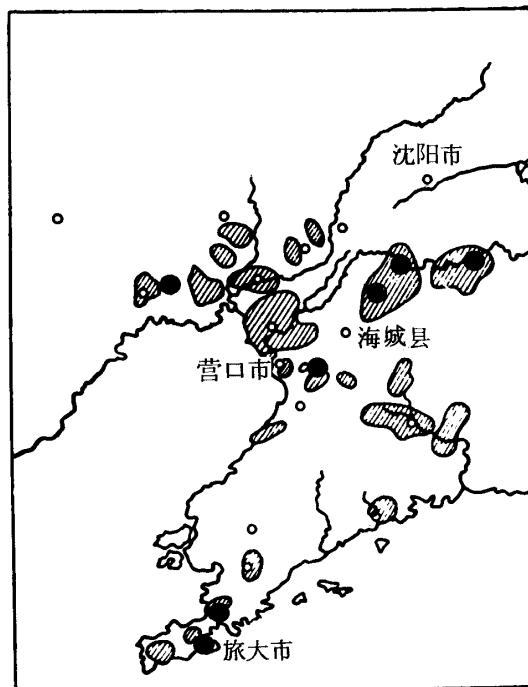


図4.1.3 直前の動物異常（動物異常）の分布

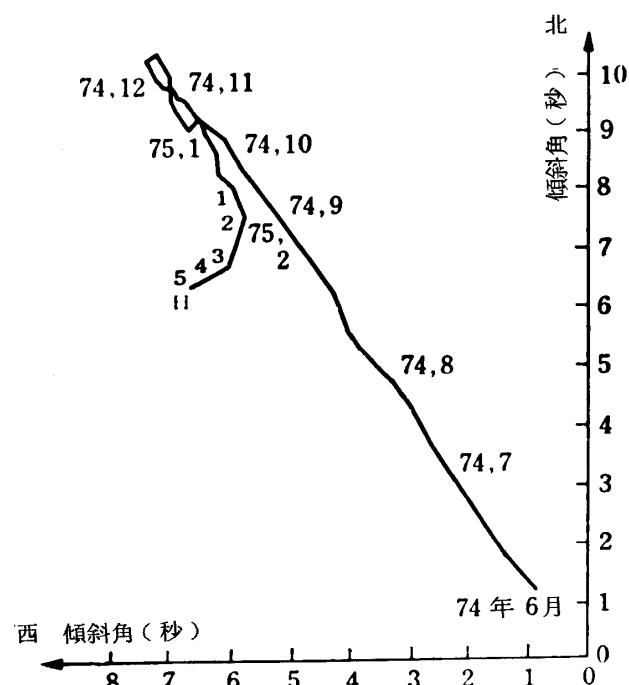


図4.1.4 沈阳地震基准台の傾斜方向の変化

高値に達したがその後変動がゆるやかになり、岩石の破壊実験に見られる最終段階とよく対応していることから大きな地震がいつ発生しても不思議でない状態を示していること、

(4) 金县—营口を結ぶ地域は図4.1.3に示されるように小地震の空白域となっていること、

(5) 沈阳地震台の傾斜計は図4.1.4に示すように北西方向に向っていた傾斜運動は12月、突然その方向が逆転し、かつ8の字型の運動に転換したこと（中国では前兆現象として傾斜計にこの8の字型がよく見られる。）

等であるが、その地域は营口・金县一帯及び丹东地区、時期は1975年上半期に、大きさはM=5.5～6と判定された。その理由は総合的判断との事であるが場所に関しては小地震空白域を考慮したと思われる。時期・マグニチュードについては特別な前兆現象に重きをおいているとは考えられないが、傾斜ベクトルの8の字型変動は松潘・平武の地震においては時期の判定に使われていたからあるいは経験則があるかもしれない。

c) 直前異常現象

短期预报が出された後は各種観測、移動班の強化、大众観測と専門観測の結合を一層強化し、地震直前の前兆現象を捉えるため、専門的観測から宏观現象の観測に至るまで高密度の監視体制を組織することであり、また各機関に震災予防の措置を確実に実施させることであった。

c)-1 丁家沟生产大队（丁家沟生産大队）

海城县の東南にあり、かつての荒地を果樹園や農作地に変えた勤勉な一農村であるが、すでに11グループに分れ地震予防について学習し、井戸の水位等の観測を行なっていた。2月3日夜7時過ぎの比較的大きな前震は音を伴うことが観測されたし、この日は動物異常が多く見られた。生物物理研究所の調べによれば遼南全域の動物の異常行動は未確認のものを含めて（一般には地震弁公室の職員が報告に基づき調査に行く）、

2月1日 28件、 2月2日 379件、 2月3日 904件

と3日に異常行動件数が急上昇した。この農村には深さ15mのものを含めて100コ以上井戸があったが、その中の約20カ所の井戸は2月3日の夜より濁ったり水位が上る現象を示し、4日は噴出するものもあったという。たまたまこの農村の中心に深さ5mの井戸があり、その地震前の模様をくわしく聞くことができた。井戸は先に述べたように震央から約15kmである。

2月3日 獨りを発見

4日朝8時頃 あふれはじめる

昼頃 地表1m位噴出

地震時及び直後 地震の際には井戸の事など考えられなく不明

地震後 水の汲み上げ不可能約1ヶ月続く

このように震源に近く、また断層に近い付近の宏观異常現象は極めて明瞭に現われた。さ

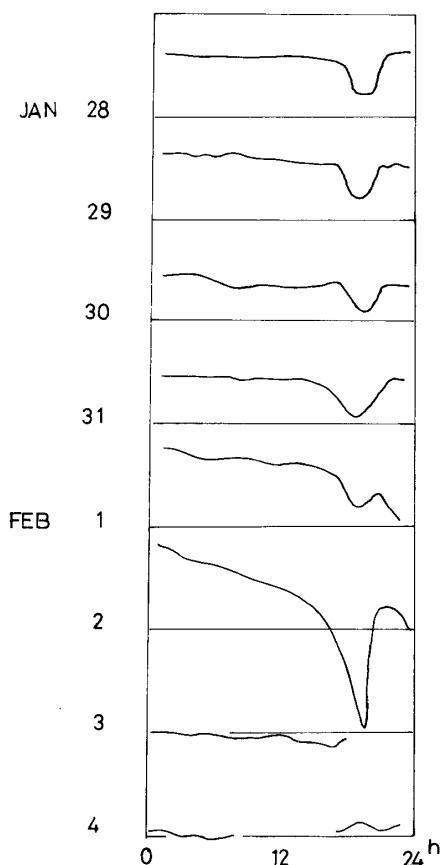


図 4.1.5 102 隊自然電位日変化曲線

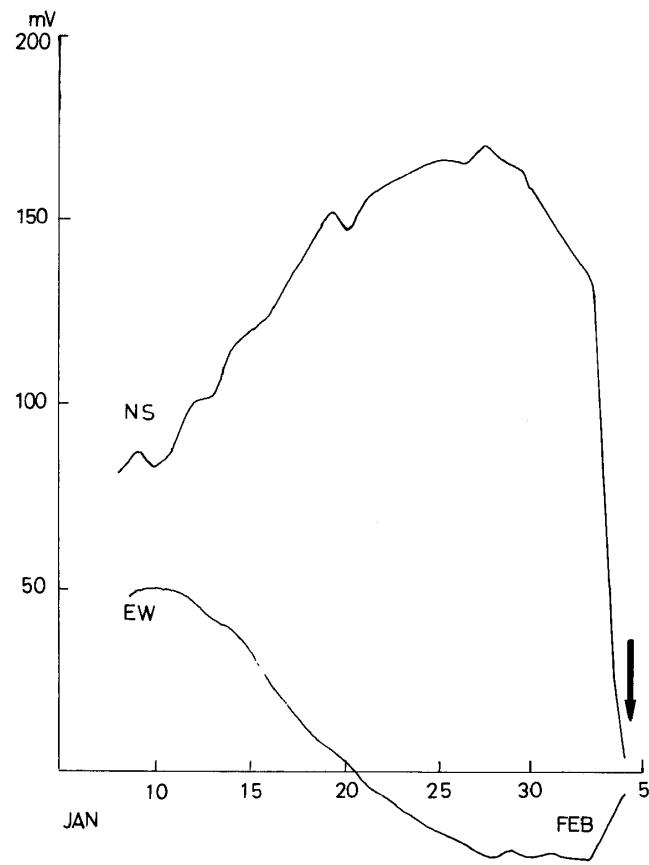


図 4.1.6 102 隊自然電位日平均変化曲線

らに地震の直前またはほとんどその瞬間に稲光りのようなものが見えたが、その方向 30~40m 先には割れ目が出来ていたという。

C)-2 辽寧省冶金地質勘探公司
102 地質隊

地震直前現象として有名な自然電位の異常を捉えた大眾観測点である。この隊は地下資源調査を目的としていたが短期预报が出されるや革命委員会の指導で自然電位の測定を始めると共に大眾観測の指導にあたった。もちろん物理探査等の専門技術者グループであり、この種の観測では第 1 級の専門家でもある。NS と EW に測線を設置し、極板としては鉛の板を用い、電極の深さは 1.2m で自動平衡型の測定器を用いていた。1 時間毎の読み取りを行ない、0, 6, 12, 18 時の平均をとり日平均として値を求めていた。図 4.1.5 はその記録例で、図 4.1.6 はその日平均値

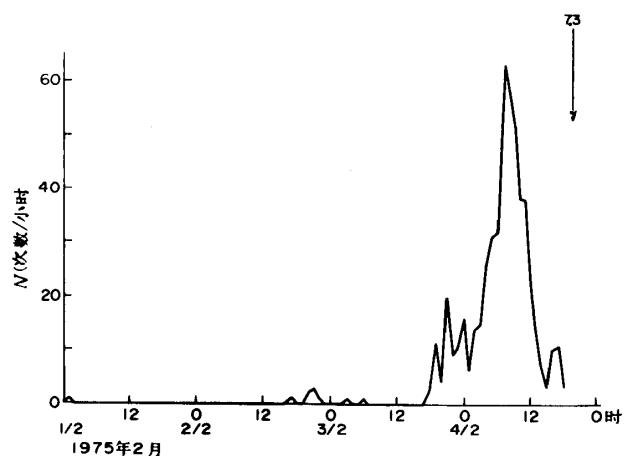


図 4.1.7 海城地震前震の 1 時間当たり発生数の変化

を表わしたものである。観測は1月7日から開始された。NS成分に関しては、

1月27日 171mVに達しその後下降
 1月31日 148mV 下降急激になる
 2月 2日 129mV
 3日 31mV 2月3日16時頃から強いパルスが出て、観測不可能、その状態が4日の午前中まで続く。この2月3日23時～24時頃振動している最大値が1,000mVに達したので異常現象として報告。

C)-3 石硼峪地震台（营口市）

震央から約20kmに位置し現在技術者11名、高感度、低感度地震計各3成分他、テレメーター用上下動1成分地殻応力計、プロトン磁力計、水平振子傾斜計、磁気偏角計が設置されている。海城地震当時は技術者7名で、観測は微小地震、傾斜、地下水の観測を行なっていた。

前震活動	2月1日	1時頃	$M = 0.5$	1ヶ
	2日	18時頃より	$M = 0.8$ クラス	7ヶ
	3日	18時30分より	活動活潑	
			約500コの前震を観測	

この前震活動があった地域は、1970年観測開始以来始めてその活動が認められた所である。地震活動は数、大きさが時間と共に大きくなつて2月4日13時以後に図4.1.7に示すように急激に減小した。最も集中的に起つた小地震のS-Pは2.2～2.7秒で79コの中78コがすべて初動がUpであった。4日13時頃より地震活動の減小とともに地下水があふれはじめた。

C)-4 沈陽地震基准台

1970年建設翌年から観測開始、現在約20名の技術者がいる。花崗岩を基盤とする奥行20mの観測壕には各種測定器が設置されている。微震計、中強震計、強震計、アスカニア重力計（連続記録）、ラドン濃度測定器、地電流、1kmスパン測定傾斜計、磁力計等が置かれている。辽宁省には20カ所に地震台、地震站があり、沈阳市管轄の大众観測点は約200カ所、1000名が観測にあたり週1回報告を受けている。海城地震前は17点であった。現在7震台よりテレメータされているが、将来14点に増設する予定とのことである。

この基准台は地震予知の作戦本部であり、1974年12月以降各種異常現象が集められるに従い、10数回にのぼる打合せ会が行なわれ、数多くの討論がなされたが意見はまた数多く、一つ一つに決断を下すことは大変難しかった。図4.1.4は当地震台で得られ傾斜ベクトル図である。12月中旬より傾斜方向が突然180度転換する記録が得られ、1月には8の字結びの現象が見られたがなお短期预报の場合、時間に関してはすぐ、1～2ヶ月後、6ヶ月後と

いとうような数々の意見もあった。また直前予報に関しては何時知らせるか、地震がない時は何時解除するか等は最も困難なことであった。1月の中旬短期预报にて海域地震震央域よりやや南方の营口、金县一帯及び丹东が危険性のある地域と定められたが、その後、海域付近に2月1日から発生した地震群を検討し、2月3日の夜の会議で海域を中心に危険区を広い範囲に変更した。このように短期、直前の予報は困難な点が多いことがわかる。

C)-5 临震预报へ

辽宁省地震弁公室は2月4日0時30分临震预报に対する意見を省革命委员会に提出し、省委员会は2月4日10時全省に対して营口・海城地区に比較的大きな地震が起こる可能性のあることを通告した。2月3日までの各種データの総合分析によるものであった。われわれの現地で直接見聞した異常現象をもう一度まとめてみよう。

動 動 の 異 常 行 動	2月3日急激に増大
地 下 水	震央に近く断層に沿った地域の井戸は2月3日濁るかまたは溢水を始める。
102隊の自然電位	2月3日16時より振幅の大きいパルス状の波形。23時～24時最大値1,000mVに達する。
群 発 性 地 震	石硼峪地震台の観測によれば2月3日18時30分より活動急激に活発となる。
沈阳地震基准台の傾斜計	2月3日急激に傾斜方向を変える。

これらの2月3日に現われた異常現象は前日に比較し、極めて明瞭な異常で時間的また空間的にも集中していることがわかり興味深い。

C)-6 直前予報を受けて（营口市地震弁公室）

营口市では地震工作すなわち地震予測・予防工作的仕事が1971年から地震弁公室により始められ、まず地震に関する指導グループが作られた。それは地震台、地震站のような専門チームと人民公社、102隊のような宏观現象観測をするチームを指導するもので、それらの組織作りは地震弁公室で行われ、かつ大众观測員の指導、一般大衆にはこれらの大众观測員を通じて地震知識の普及活動を行なっている。

地震弁公室は長期中期短期预报に対応して仕事をしてきたが、特に中期短期预报に伴い次のような対策を行なった。

- (1) 各部門の指導者を既設の地震指導グループに参加させ、防災・救急の体制の確立をはかった。
- (2) 通信の確保：電話線の補強、重要電話線には予備回路が用意された。有線網について万一の破壊を考慮し重要拠点には無線機を準備した。
- (3) 電気：生産・都市生活に直接かかわる電気関係を重要視し、設備の点検、補強、地震に伴い破壊されると考えられる箇所に対する対応策の研究、代替の準備、万一電気切断の場合にはその復旧に対する考察、準備。

(4) 生産・生活のための水：これらの水に対し配慮され幹線給水路の点検、予備用水の準備、給水パイプが破壊されても直ちに対応できる対策の研究。

(5) 農村のダム、水利施設の破壊が予想されるので二次災害の予測を行ない、点検、補強及び修理のための部品の用意。また、あるダムは災害軽減のために放水し、水位を低くした。

(6) 都市の中の大きな建物、工場、煙突の点検、特に高層建築物は地震に弱いと考えられるから補強を行なった。また大きな建築物の崩壊も考えられるのでその周辺のものに対する対策が練られた。

(7) 防災救急隊：負傷者に対する救急隊及び建造物の修繕のためのチームが組織された。これらのチームを編成する際、一旦緩急の場合直ちに組織的に行動ができるよう職場の地理的位置を考慮しチームの人員を適正配置した。さらに医療隊は医者・薬品の保管・救急医療の設備確保の三つからなり、地震前に整備された。医者を始め各担当者は予め指定された場所に直行できるよう編成された。

(8) 物資の配布：被害を考慮し、食料・衣類・住居等について当時の気候を考慮し用意された。特にビスケット・衣類・携帯照明（懐中電燈）・テナント等は市で用意した。また地震小屋設営のために木材・建築材料

・用具が整えられた。

(9) 交通：防災に直接関係あるがその震源の位置・規模・時間が確定されないとあらかじめ用意することの最も難しい分野である。しかし营口市では人間・物資の運搬のためバス・トラックを指定用意し、かつその運転責

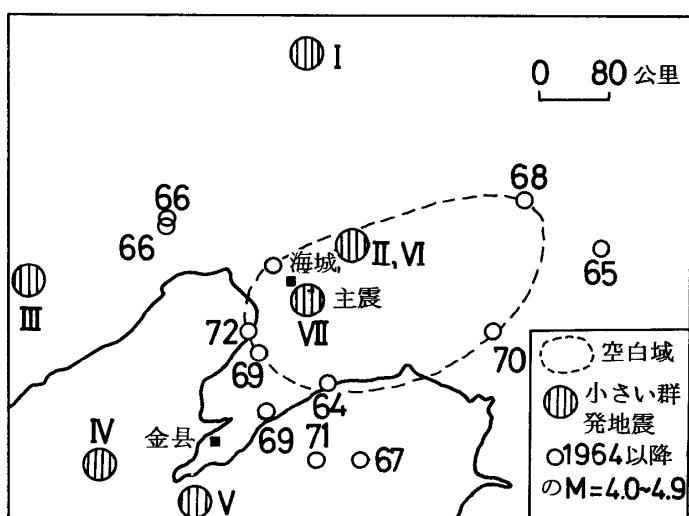


図 4.1.8 辽南地区の震央分布図および群発地震の分布図

表 4.1.3 渤海北部地域の小地震群

小地震群	最大地震のM	2番目に大きいM	M≥1の数	M≥2の数	本震からの距離	発生期間
I	2.8	2.6	21		280 km	1974年3月
II	2.0	2.0	9		90	1974年4月
III	4.8	4.8	10		320	1974年5月
IV	3.7	3.4		11	300	1974年9月
V	3.2	3.1		6	250	1974年11月
VI	4.8	4.6	121		90	1974年12月
VII	4.7	4.3	7500		0	1975年2月

任者を指名し、大地震後直ちに指定された場所に待機することを定めておいた。

(10) 二次災害について：燃焼しやすい物資・爆発物・化学薬品等、前もって各地区・部門毎に適当な保管・処理を行なうよう努めた。

(11) 避難命令後の措置：危険物は洞窟に入れ、爆発物は分散、有毒ガス類は生産コントロール、ダムの修理が直ちにできるよう待機した。その他、ガソリンは予め定められた場所に分散し、備蓄され、その処理が行なわれたが、なお、安全島を作り、生産を続けた所もある。

d) 金县の短測線水准と小地震の活動

1975年海城地震予知の過程を詳しく調べると、金州断層南部金县の断層にまたがっておかれている短測線水准の上下変動量測定の結果は大変重要な意味を持っていることがわかる。震源から約200km離れているが、その上下変動の異常変化は海城地震の中期・短期予知の基礎となったものであろう。なぜならば、この異常変化を重要視しているあらわれとして、場所としての震源域の予報は終始変らず、金县を含んだ辽南地方を指定していたからである。

今回、この変動パターンと海城地震震央から半径300kmの範囲で1974年以降発生した小群発生地震との関係を顧浩鼎先生により報告されたが、大変重要な内容であると考えられるので紹介する。

海城地震の発生した地域は辽南地区とよばれ、营口ー开原、金州、鸭绿江断層等の活断層の集中している地震帯であるが、1944年以降、海城地震発生までM=5以上の地震はなく、また、観測網が強化された1964年以降でもM=4以上の地震は発生しておらず、地震の空白域であった。しかし、1973年の後半から小地震の発生数が急増した。さらに、1974年3月以来渤海北部地域には、7回にわたり小地震活動があり、それぞれの活動の群は上下変動の経過と対応している。図4.1.8は小さい群発地震の位置を示したもので、表4.1.3にそれぞれの地震の大きさ、数、発生時が示されている。図4.1.2には、これらの群発性地震発生時期と金县の短測線水准の結果が示されている。

第1期は、地震群I, II, IIIの発生期で中期预报の根拠となった金县の短測線水准の急激な変化の時期と対応している。第2期は上下変動がゆるやかに変った時期で、その間には、群発性地震は発生していない。第3期は、1974年9月から12月までの期間で、短期预报の理由となった短測線水准の急激な変化が始まり、それがゆるやかな時期で、群発性地震群のIV, V, VIの発生期に相当する。しかも、このIV, V, VIの地震群は金州断層、郊城庐江断層に沿っていることは興味深い。第4期は短測線水准の変動がゆるやかな1975年1月から前震発生までの時期であり、2月1日から始まった前震群VIIまでの時期に相当している。これらの地震は深さ5~15kmに発生し、必ずしも浅いものばかりではない。本震発生時期に近いIV, V, VI, VIIの地震群のSH, SV波の振幅をそれぞれU_{SH}, U_{SV}とし、

$$\tan C = \frac{U_{SH}}{U_{SV}}$$

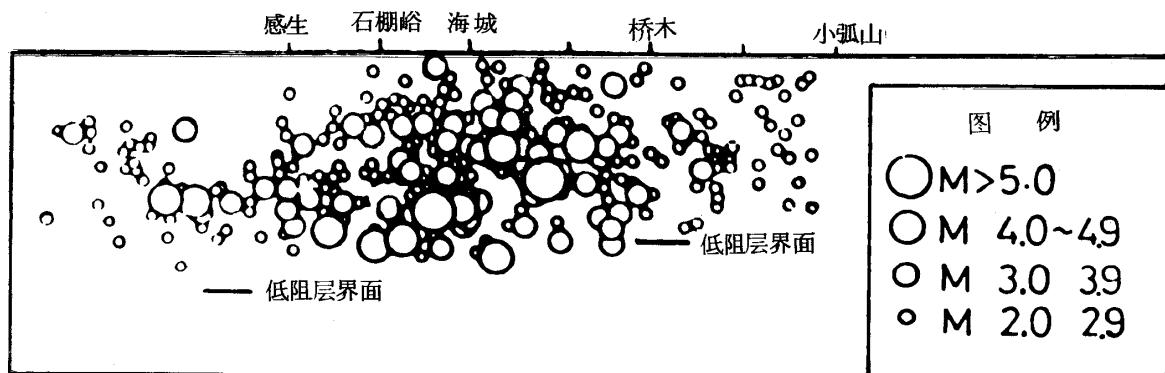


図 4.1.9 海城地震余震分布図と高伝導度層との関係

の値を調べると、余震の場合バラつくのに比較して、 C の値はほとんど一定であり、そのメカニズムはほとんど変わっていないと考えられる。これらのことから大地震発生前の微小地震群、小地震群の活動は大地震発生に至る過程を知る上に重要な意味を持つと考えてよい。

e) 海城地震その後

1978年2月初め、全国地震連絡会議で、地震活動、短測線水準、地磁気、長水準、重力等の結果を総合的に判断して、辽宁省の南、辽东半岛およびその周辺の海を含めて $M = 6$ 程度の地震が1年、または上半期以内に発生する可能性があるという中期预报が出されていた。1978年3月、金县の短測線水準で過去10ヵ月に3mmの東上りの測量結果が得られており、また、微小地震活動が辽东半岛南部で活発であったが、その当時短期预报は出されなかった。4月中旬に至り、短測線水準以外にラドン、地下水の異常、井戸の湧水が多く認められた。それらを考慮し、营口地震弁公室は4月下旬营口と金县を含む地域に5月20日～5月末日までに $M \sim 6$ の地震発生の可能性ありという短期预报が出された。

1978年5月18日、石硼峪地震台近くの換屯直下に $M \sim 6$ の地震が発生し、倒壊した建物もあったが一般に被害が少なく、ガラスの破片で負傷した人が少数あつただけで大きな災害に至らなかった。

しかし、この地震は金县との距離160kmで考えられていた地域より北であり、かつ震央付近では前震ではなく、その他の明瞭な前兆現象は見られなかった。そして、3年前の海城地震とほとんど同じ地域であるので、余震とも考えられ、目下この $M = 6$ の地震と先に出されている中期预报との関係を検討中である。

f) おわりに

すでに述べたように2月3日にきわめて明瞭な各種異常現象が時間的に集中して起こっているが、さらにくわしく調べると翌4日大地震発生7～8時間前にも著しい前兆現象が現われている。

2月4日正午前後の各種異常現象

石 砂 嶺 地 震 台 1 0 2 隊	地震活動が急激に衰えはじめた。同時に地下水急変、溢水はじまる。 前日の16時より始まった自然電位のパルス状の変化が出て不安定になり読み取れなくなったが正午前後再び安定する。
丁 家 沟 生 产 大 队	4日朝8時から溢水していたが正午より地表約1m位噴出する。
营 口 水 源 人 民 公 社	正午頃より部屋のオンドルの床を破り噴砂始まる。

これらの著しい前兆現象の現われた地域は震央から余り離れていない場所である。地震活動が止み自然電位の異常変化が止んだ場合、嵐の前の静けさか、それともそのまま静穏化するかは情報量がストップしてしまうから判断に苦しむところであるが、一方同時に他の情報量として地下水、噴砂等が発見されれば有力判断材料となる。よって直前異常を知るために各種要素の観測は是非必要となろう。

中国に於ける地震予知事業を親しく見聞し最初に述べた、なぜシグナルは大きいのか？なぜ広域に異常が出現するのか？どのようにして適格な判断をするのかという事について考えてみたい。

図4.1.9は海城地震の震源の垂直断面図であるが、余震は上部地殻にのみ発生し下部地殻には地震発生が見られない。中国大陸では一般にこの境界は深さ18km～25km位で上部は電気伝導度が低く下部は高いことが観測事実として知られており、かつ大きな地震を発生する構造線の直下ではその境界が不連続になっているという。これは重力、地震探査、地磁気の研究により確かめられている。この下部地殻の高伝導度の原因は部分溶融であると考えられ、このような部分溶融しているところに、しかも水平方向に不連続構造を持つ場合には、水平に応力が加わった時、垂直応力も作用し上部域に応力集中が起こると考えることができるから、断層に沿って大きな前兆現象が発生することは可能であろう。

中国の地震予知は長期から中期・短期と発生が予測される場所を特定することに全力が上げられ、その地域が限定されるとそこに各種観測を高密度に投入するので発生するであろう震源により近いところで観測ができることになり、判定に役立つ前兆現象を捕捉することが可能となり適格な予報を出すに至ったのである。

4.2 地殻変動・重力

萩原幸男

a) 長水準

海城地震による地殻変動は三角点間の距離測量、水準点を結ぶ長水準（長距離水準測量）、断層に直交する短水準（短距離水準測量）によってチェックされている。

海城地震前後の長水準については、国家地震局地震測量隊の報告に詳しい。図4.2.1に示す測線について、1957年以来、地震前に4回の反復測量を実施している。その結果として得られた地殻の垂直変動（1958～1970年）を図4.2.2に示す。遼東半島は全体に

隆起の傾向を示し、隆起量は半島の東南海岸に沿って大きい。とくに蓋县付近を境にして、隆起の段差が大きい。

辽东半島の隆起運動を説明するモデルとして、半島の北西海岸に沿う、NE-SW方向の断層帯を考え、海城地震もこの断層運動の一つであったとしている。この断層は深くモホ面を切り、上部マントルに達しているとの説明であるが、このように深い断層が存在し得るか否か疑問である。

海城地震は营口付近一帯の地殻を沈下させた（図4.2.3参照）。辽河の河口に近い水源公社の話によると、地震とともに1cm～1mの地割れが各所に生じ、地震後30分と経たないうちに水浸しとなり、深いところでは水深1mにも達したというから、地震後30分以内に沈下が完了したとみてよからう。公社内に噴砂が著しく、我々は稻田の中に保存された噴砂現場の一つを見学した。

b) 短 水 准

辽东半島の先端、旅大に近い金县では、金州断層をまたいで、N65°Wの方向に距離560mの短水准測量を毎月1回反復している。また断層にはば平行して、N15°Eの方向にも、380mの短水准をくり返している。

図4.2.4は金县の短水准観測点（金县台）の位置を示し、図4.2.5は2本の短水准変化を示す。1973年8月頃から金州断層の西側が東側に比べて隆起し始め、1974年7月、小休止の後、隆起は速度を上げ、1974年11月頃に最大値を示す。その後、沈降に移って間もなく、1975年2月4日に海城地震を迎えた。隆起のパターンが新潟地震に類似している。

図4.2.5は①～⑦の微小地震群の発生を併記



図4.2.1 辽东半島の長水准路線(国家地震局地震測量隊, 1977)

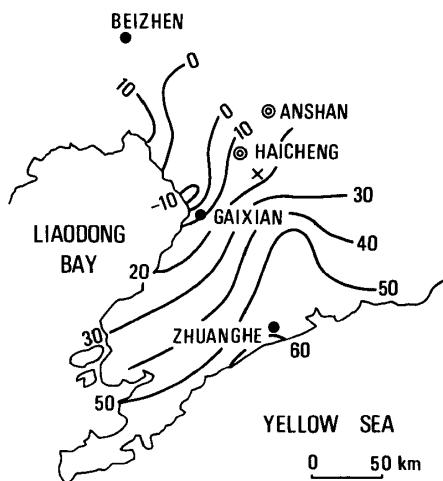


図4.2.2 辽东半島の垂直地殻変動
(1958～1970), 単位mm(国家地震局地震測量隊, 1977)

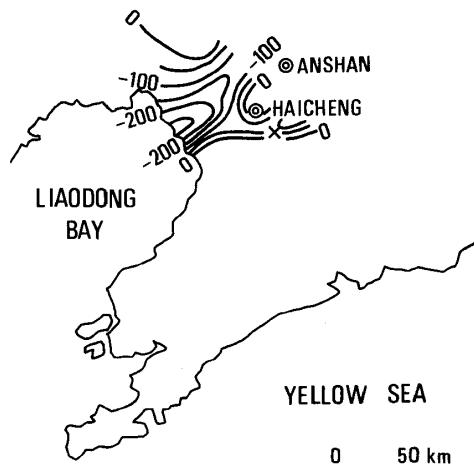


図4.2.3 海城地震前後の垂直地殻変動,
単位mm(国家地震局地震測量隊,
1977)

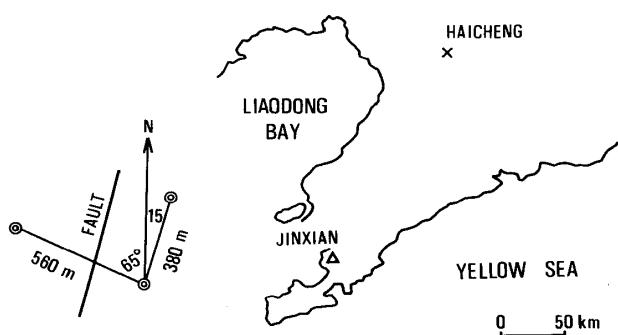


図 4.2.4 金县台の位置図

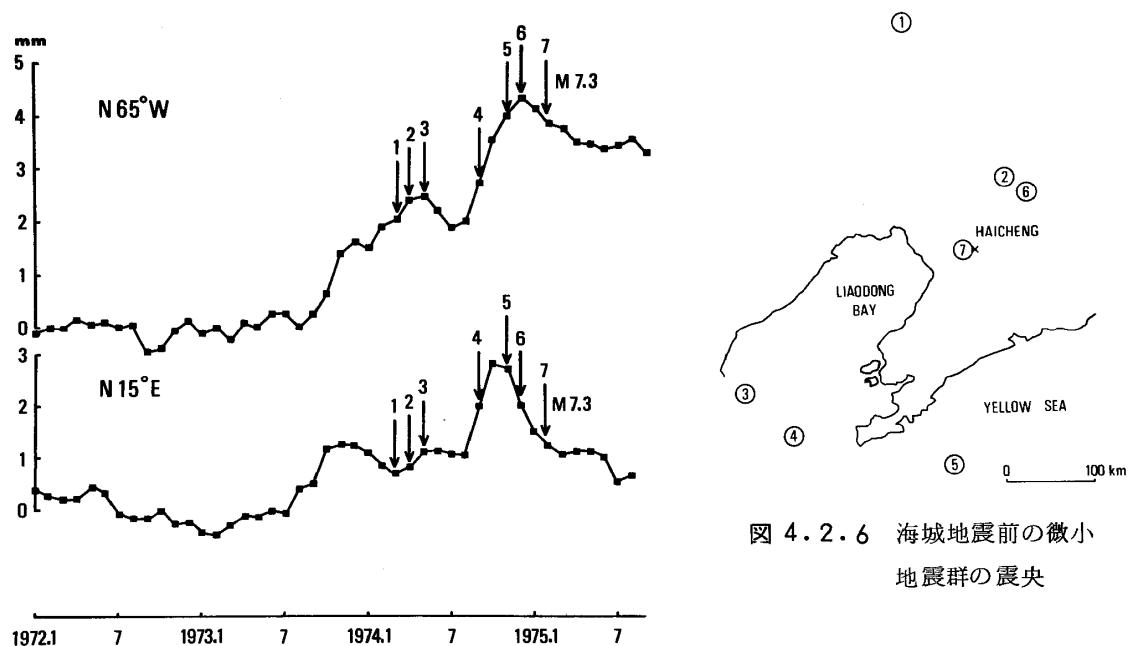


図 4.2.5 金县台における短水準変化

(a) N 65°W, NW上り ; (b) N 15°E, NNE上
り. 図の 1 ~ 7 は微小地震群 (表 4.2.1) に対応する

する. 地震群中最大マグニチュード, 海城地震の震央からの距離などは表 4.2.1 に与える.

③と④との間, 1974年6月に, 半
径 300 km の地域に中期预报を, ⑥
と⑦の間, 1975年1月に短期预报
が発せられた. 図 4.2.6 には微小地震
群の震央の位置を示す.

c) 重力変化

重力測量は長水準と必ずしも同時期
に実施されてはいない. 北鎮から營口
を経て庄河に至る路線 (図 4.2.7 参照)

表 4.2.1 海城地震前の微小地震群

地震群	発生時	震央距離	最大マグニチュード
①	1974年 3月	280 km	2.8
②	4月	90	2.0
③	5月	320	4.8
④	9月	300	3.7
⑤	11月	250	3.2
⑥	12月	90	4.8
⑦	1975年 2月	0	4.7



図 4.2.7 辽东半岛の重力測線（卢ら，1978）

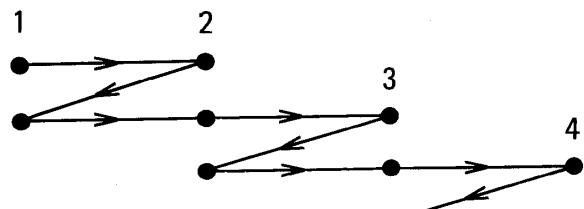


図 4.2.8 重力測定の順序 双次三程法

に沿って、地震前には1972年6月、11月および1973年5月の3回、地震後には1975年3月、7月および9月の3回にわたり反復測量が行なわれた（卢ら、1978）。

重力計は中国製ZS-67型とカナダ製CG-2型の2台、いずれも石英スプリングである。測定は双次三程法といって、測定の順序を図4.2.8のようにとする。

図4.2.9に北鎮を不動点に選んだときの重力変化を示す。海城地震前には、北鎮から庄河に向かって、重力減少率が大きかった。とくに蓋县と東荒地との間の段差は大きく、1972年6月から11月までの5ヵ月間に $180 \mu\text{gal}$ に達する差を生じた。つまり辽东半岛の地殻はその北西部の低地と異なる挙動をしたと考えられる。

この事実は長水准の反復による地殻の垂直変動図（図4.2.2）の傾向と矛盾しない。重力

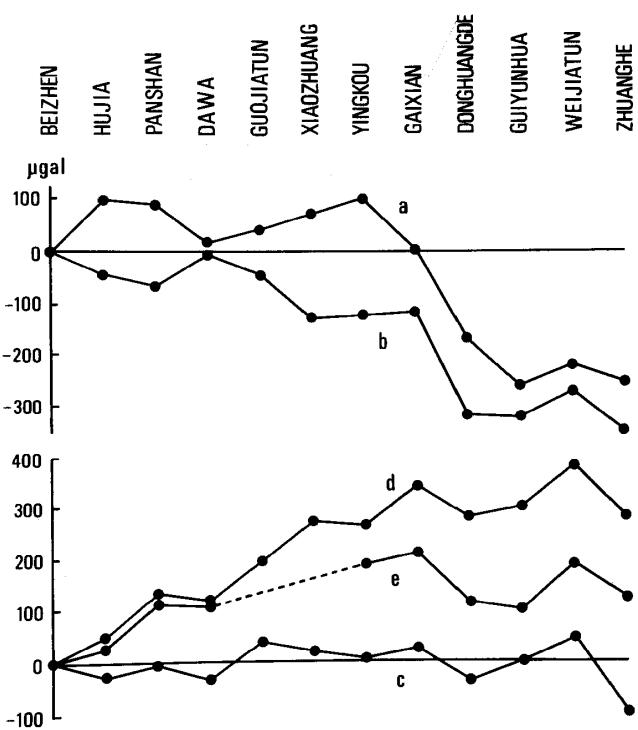


図 4.2.9 北鎮・庄河間の重力変化（卢ら，1978）
(a) 1972年6月 - 11月
(b) 1972年6月 - 1973年5月
(c) 1972年6月 - 1975年5月
(d) 1972年6月 - 1975年7月
(e) 1972年6月 - 1975年9月

変化量は垂直変動量と負の相関をもっている。負の相関は重力のフリーエア変化から期待される傾向であるが、僅か5カ月間の重力変化量は、12年間の垂直変動から期待されるフリーエア変化量の10倍にも達することになる。

海城地震による营口付近一帯の沈下の影響は重力変化(図4.2.9の曲線c～e)の上に現われていない。重力変化から垂直地殻変動を推定すると、地震前に隆起を続けていた辽東半島の地殻は地震によって沈降に転じた可能性をもつ。しかしこの可能性を支持する長水准データはない。

参考文献

- 国家地震局地震測量隊：海城7.3級地震の地形変，地球物理学報，20，251—263，1977。
卢造勋・方昌流・石作亭・張茂樹・李潤江・楊均珍：重力変化と海城地震，地球物理学報，21，1—8，1978。

4.3 地磁気・地電流

力 武 常 次

a) 沈陽地震基準台

沈阳郊外の東陵にあるこの地震基準台においては、光学式地磁気3成分変化計が作動している。この器械は国産のもので、北京基準台にあるものと同じである（規格は乘富(1978)参照のこと）。送りは15mm/hourであるが、きわめてピントのよいマグネットグラムが得られている。驚くべきことには、この記録では鉛直分力の短周期変化が全く消失していて、いわゆる短周期消失型異常を典型的にあらわしている。1936年6月19日の日食に際して、黑龙江省呼馬、吉林省长春などで得られたサブストームの記録〔RIKITAKE, YOKOYAMA and HISHIYAMA (1953)〕によれば、このように著しい短周期消失は知られていない。この事情は北京や成都のマグネットグラムについても同様であるので、沈阳(瀋陽)付近の地下に高導電体がもり上っていると考える根拠を与える。ちなみに地下水位は深さ40mであるという。

最近中国においても、いわゆるCA(Conductivity anomaly, 電気伝導度異常)の存在が知られるようになったが(徐ら, 1978)，今後とも、この方面の研究が中国で発展することを期待したい。

この地震台においては、プロント磁力計による観測を近い将来開始する計画である。

また、地電流観測は20km離れた新城子で行なっていて、電極間隔は1kmであるという。なお群測点用の観測記録紙が準備されていた。

b) 石硼峪地震台

海城地震の震央より20kmの距離に位置するこの地震台では、プロトン磁力計、偏角変化計、地電位差計による観測が行なわれている。同地震前後の石硼峪地震台付近における地

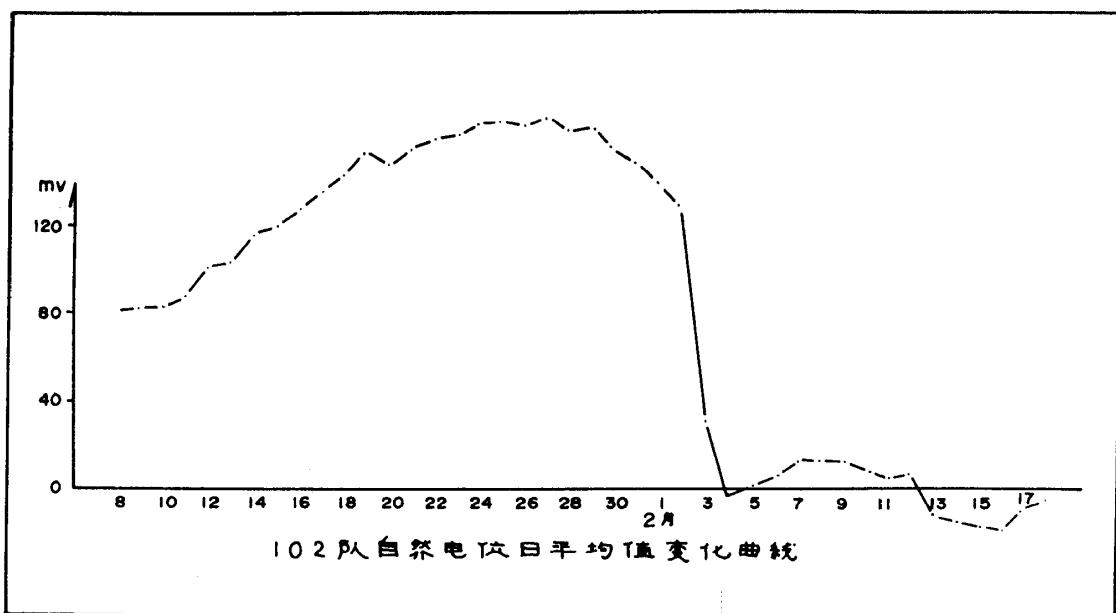


図 4.3.1 海城地震に先行する地震電位差変化

電位差変化は、アメリカ地震調査団の報告 (RALEIGH *et al.* (1977), Fig. 21) にとりまとめて発表されている。

c) 辽寧省(遼寧省)冶金地质勘探公司102隊

冶金地质勘探公司102隊は地下探査を主務とする隊で、600人の人員を擁している。その技術的レベルを考えると、群測点とはいいうものの、単なるアマチュア観測点ではなく、プロと同等の能力を備えていると判断される。

ここでは、朱凤鸣(1976)によって報告されたように、図4.3.1に示すような海城地震に先行する地電位差変化が観測されている。われわれの調査団はこの観測の責任者である王福昌より直接話を聞くことができた。その大要はつきの通りである。

地電位差観測は1975年1月7日より開始された。電極は鉛板を用い、地下1m20cmの深さに埋めてあり、電極間隔は70m(NS)および50m(EW)である。この地下水位は地表より深さ2~3mである。1月18日に地下水位に大きな変化があった。観測は毎時トランジスター自動補償型電位差計方式によって行ない、0, 6, 12, および18時の平均値を用いて1日の値を代表させる。図4.3.1はNS成分の日平均値の変化である。なおEW成分の変化およびNS成分の1975年9月までの変化は、RALEIGH *et al.* (1977) に再録されている。

2月3日16時ごろよりパルス状の変化が出始め、4日前中まで続き、NS成分はときどき観測不能になるほどであった。有感の前震の前にこのパルス状変化がしばしば観測されたが、直前は静かであった。

2月3日23~24時の期間には、NS成分の電位差が1Vを越えてしまうというような

激しい変化があったという。なお同年8月には3日間にわたって400mmの降雨があり、RALEIGH *et al.* (1977)の図に示されているような著しい地震位差変化が観測されている。

電極と測定器を結ぶ線はあまり立派とはいえないビニール線であり、電極以外の部分と地面との絶縁状態は日本における地電流測定ほど厳密を期していないという印象を受けた。また観測室のすぐ外側の2本の樹木に電極を埋めこんで、植物電位を測定していることを知らされた。これは「何かあるかもしれない」という認識で行なわれているのであって、必ずしも確立した理論に基づいているわけではない。

d) 虎庄人民公社

102隊訪問の直後、虎庄人民公社において郵便副局長吳春霞の話を聞くことができた。同氏は海城地震当時、同公社郵便局の電話交換手組長として働いていたが、電話交換台の横に地電位差観測のためのマイクロ・アンメータを置いて数年にわたって観測を続けているという。NS成分は鉛板電極を30m間隔で埋めた電極を用い、EW成分は石墨電極、20mであるという。結線は細いビニール線であり、絶縁状態は良好であるとは思われない。

海城地震の起こる前、マイクロ・アンメーターの針が激しく動き、吳氏らはただちにこの現象を地震台に報告したという。この郵便局における地電位差変化は RALEIGH *et al.* (1977) に図示されている。

参考文献

- (1) 徐文耀・祁驥・王仕明(1978)：甘肃省东部地区短周期地磁变化异常及其与地震的关系・地球物理学报, 21, 218-224.
- (2) RALEIGH, B., G. BENNETT, H. CRAIG, T. HANKS, P. MOLNAR, A. NUR, J. SAVAGE, C. SCHOLZ, R. TURNER and F. WU (1977) : Prediction of the Haicheng Earthquake. EOS (*Trans. Am. Geophys. Union*), 58, 236-272.
- (3) RIKITAKE, T., I. YOKOYAMA and Y. HISIYAMA, (1953) : Anomalous Behavior of Geomagnetic Variations of Short Period in Japan and Its Relation to the Subterranean Structure, The 4th report. *Bull. Earthquake Res. Inst.*, Univ. Tokyo, 31, 101-118.
- (4) 朱風鳴(1976)：海城に発生したM7.3の地震に関する予知・予報と防災の概況. 中国地震考察団講演論文集, 地震学会, 15-26.

4.4 辽寧省海城地震区の地質と地震断層*

松田 時彦

a) 地質概況

海城地震(M7.3)は、1975年2月4日辽东半岛から北東へつづく辽东山地の西北縁

* 本稿は主に辽宁省地震局趙文峰の講演(沈阳で1978.9.7), 個人談話および同氏らの案内による現地見学に基づいてまとめたもの。



图一 比例尺 1:2000000



図4.4.1 海城地震の震央（大きな丸印）と周辺の地質図（辽宁省地震局提供）

中国の地震予知の現状

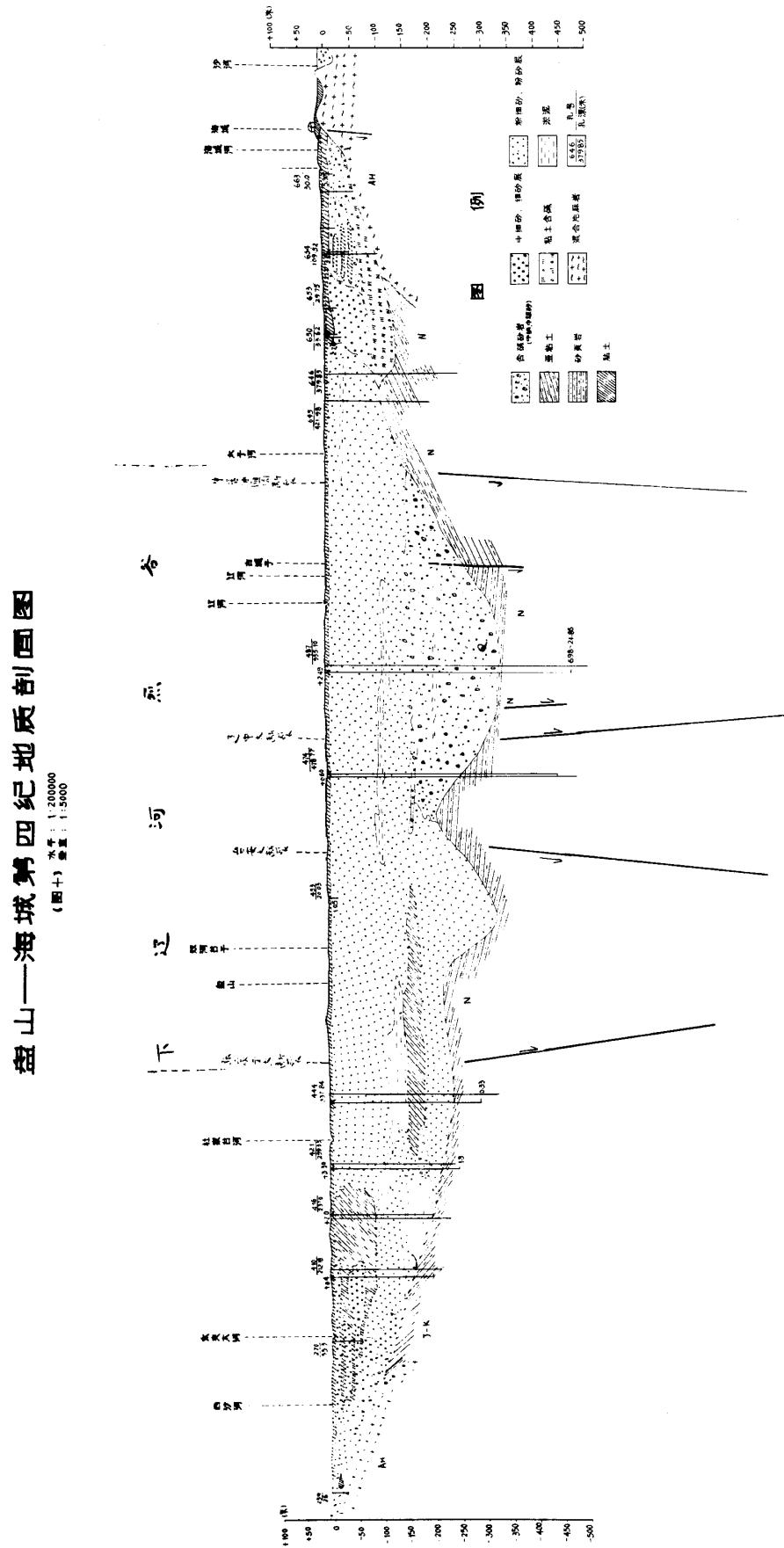


図 4.4.2 海城付近から北西方へ辽河平野を横断する地質図（辽宁省地震局提供）

で発生した。震央は海城市の南方約20kmの山中とされている。震央付近の辽东山地には先カンブリア代の変成岩が広く露出し、そのほか一部にはそれを貫く中生代後期の燕山期の花崗岩などがある(図4.4.1)。辽东山地には古生代～新第三紀の堆積岩は存在せず、僅かに非海成の第四紀層(主に沖積層)がある。先カンブリア紀の岩石は、主に太古界の変成岩(鞍山統)の上に重なる元古界(辽河統)と震旦系の片岩、大理石、石英岩などで、概して北東走向の構造をもつ。主震の震央地域は、元古界(辽河統)中の片岩分布域にある。

この辽东山地の西北縁には、にば沈阳一大石橋一大連を結ぶ鉄道にそって北東～南西走向の推定断層があり、その西北側に拡がる辽河平原には第四紀層が厚く発達している。深さ100m～500mのボーリング資料などによって、辽河平原の第四紀層は、砂相が卓越していて、その厚さは深いところで-300mをこえていることが明らかになっている(図4.4.2)。さらにその下位には新第三紀層が存在する。辽河平原には、数本の北東～南西走向の断層(牛居・辽中・台安・張家街などの各断層)が伏在していることが知られている。いずれも正断層と考えられている。そのあるものは第四紀層をも切断し、またその両側で第四紀層の厚さに差異があり、これらは活断層であると考えられている。概して辽东平原の中央部ほど基盤岩が深く第四紀層が厚い。とくに牛居油匯沟と張家街の両断層にはさまれた部分でそれが著しく、その部分を下辽河烈谷とよぶことがある。この烈谷は南西へのび渤海をへて山省の山东烈谷へつなぐ(図4.4.2の地質断面図参照)。この辽东地域～渤海～山东半島を結ぶ地帯は、华北地帯の中の三つの地震帶の一つをなしていて、1668年年郊城地震(M8)、1888年地震(M7.1/2)、1969年渤海地震(M7.4)などの大地震が生じている。

海城地震の震央地域には趙文峰氏によると三つの方向の断層群がある。一つはN60°～70°E、傾斜60°SE、幅4～5kmの北東～南西方向の断層で、この付近の大連岩の走向にそっている。牌樓公社付近には、Q₂の地層(更新統を時代的に四分した時の古い方から二番目の地層)を切断するこの方向の正断層がある。

他の一つは北西走向(N45°～60°W)で南西へ傾斜するもので海城河に沿うものである。この断層の幅は50m～100mで、康家嶺(二道溝の南東約1km、図4.4.1地質図参照)では幅の広い破碎帯が見られる。これは南東で海城河に沿い、さらに南東では分水界をこえて大洋河の流域にのびる。長さ約100km。この断層はQ₂の紅い粘土層を切っているが、その断層条線から判断すると左ずれである。上下方向の変位はほとんどない(この断層は図4.4.1地質図に示されている康家嶺を通る断層を指しているものと思われる)。この断層はNNE方向の断層を切り、それを見掛け上左ずれにくいちがわしている。第3の断層は東西性の断層で、前二者に切断されている古い断層である。

b) 海城地震の地震断層

海城地震に伴い、海城市南方の辽东山地に北西～南東方向を長径とする70km×20kmの範囲に、多くの地割れがあらわれた。とくに、海城市南南西約30kmの孤山公社二

中国の地震予知の現状

孤山公社二道沟社裂縫

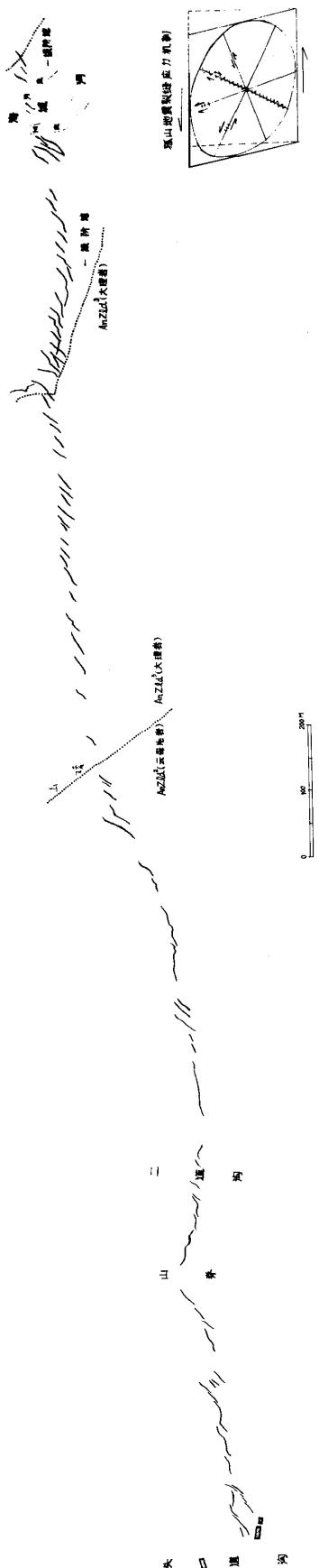


図 4.4.3 海城地震に伴って孤山公社二道沟付近にあらわれた地震断層線。図の上が北



図 4.4.4 海城地震による二道沟付近の地震断層（赵文峰氏提供）

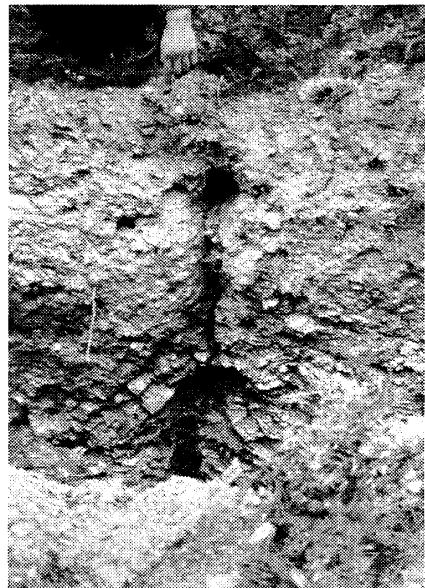


a



b

図 4.4.5
二道沟地裂線と
トレンチ内の露
出



c

道沟付近にあらわれた地裂線は、ほぼ東西走向で長さ約5kmにわたって左ずれ（最大55cm、上下変位20～30cm、邓起东ほか1976、許紹燮1976による）の雁行性の地裂線を形成した。地裂線の地表形態が明瞭であること、烈電域に位置していること、その走向が烈震域の長軸の方向や余震分布のびの方向にはほぼ一致していること、などから、この地裂線は、海域地震に直接関係した地震断層の一つであると考えられる。以下、この地震断層について記す。なお、このような地震に伴って生じた震裂線はこのほかにも上記の70km×20kmの範囲に散在的にあらわれた（牌楼東方約4km、大青山付近のものは、尾池和夫氏らが現地観察していること）。しかし、王挺梅ほか（1976）の地図によると、地震断層として上記の断層（二道沟付近）のみが記されているので、それ以外は出現したとしても顕著なものでなかったと考えられる。

海城地震に伴う上述の孤山・二道沟付近の地震断層（以下二道沟断層とよぶ）は、70km×20kmの地変分布域の南東端に近いところに位置する。すなわち、この地震断層は、二道沟部落付近からはじまり、ほぼ東方へのびいくつかの丘陵性の小さな尾根を横切って、その東側の海城川の谷に達している。この断層線の西半部は元古界辽河統の雲母片岩の露出地であり、東半は辽河統の大理岩である。表土は概して厚さ1～2m以下である。

この地震断層線は趙文峰氏らの地質図（図4.4.1）によると前述した三つの既存断層のいずれとも一致していない。また、この地震断層線を境にして地質の分布に有意のくいちがい

はみられない。また、筆者らの現地の地形観察でも、この地震断層線に沿って活断層の地形は認められない。筆者らの踏査した範囲（中央部約0.8 km）での地形との関連についていえば、この地震断層線が、丘陵上の一鞍部を横切ること、谷間では小さな沢の合流点を通過することなどの性質がみられたが、その他の部分では地震断層線はゆるい平滑な山地斜面を斜めに横切り、とくにそれに沿って斜面に傾斜異常は認められなかった。また、トレンチ壁で観察された地震断層の亀裂は基盤岩中にはほぼ垂直に達していたが、基盤岩中のその断層面に沿っては断層粘土の発達はなく、また断層の両側で表土の厚さ（約1 m）に著しい差異もみとめられなかった（図4.4.5）。このように、この地震断層が、過去に同様の断層変位をくり返してきた顕著な活断層に沿って出現したという積極的な資料は得られなかった。

地震断層線は図4.4.3、図4.4.4、図4.4.5にみるように、長さ数十m以下の多数の亀裂からなる。大部分の亀裂は亀裂帯の一般走向（東西）よりもやや北東向きの走向を示し、互にミ型に配列している。その各亀裂の両側ではしばしば左ずれのくいちがいが観察された（左ずれくいちがい量最大約0.5 m）。ごく一部の亀裂は走向が北北東であり、右ずれの変位を示していたという（したがって、両者を共役とみなすと最大圧縮主応力軸はほぼ北東一南西である）。以上のような亀裂の規則性は、地表の傾斜のむきとは関係なく、どこでもみられるので、地下の左ずれ断層運動に基因する亀裂群であると考えられる。なお、上記の地割れ分布図の作製（測量）には、辽宁省地震局地質隊の約100人が参加したことである。さらに、これらの亀裂が表土層中にのみ生じたものでないことをたしかめるため、山腹斜面に生じた亀裂の二つに対してそれに直交する長さ約5 m、幅約1.5 m、深さ約1.5 m～1.8 mのトレンチがそれぞれつくられた（図4.4.5 b, c）。いずれの場合も亀裂はほぼ垂直であり、約1～1.5 m下のやや風化した岩盤（雲母片岩）中に達していた。

この地震断層は地震の翌日、震害調査のために付近の集落を訪れた趙氏らの地震地質グループによって集落を横切る地割れがきっかけになって見出された。趙氏によると集落の人々は、地震時にこの地割れにそって帶状に地光（地面からのひかりもの）が出現したといっていることである。

参考文献

- 王挺梅ほか（1976）：海城地震地质构造背景与发震构造的探讨。地質科学，1976（3），205—212。
 邓起东ほか（1976）：关于海城地震震源模式的讨论。地質科学，1976（3），195—204。
 许绍燮（1976）：海城地震の地震活動の特徴。中国地震考察団講演論文集、地震学会，27—41。
 赵文峰：海城7.3級地震地质背景，1978年9月7日，日中学术交流報告会（沈阳）において発表。

4.5 宏観現象

松田時彦

海城地震（1975.2.4）の前兆として辽宁省南部に動物や井戸水などの宏観異常現象があらわれ短期予報などに重要な資料を提供した。このことはすでに辽宁省地震局朱風鳴氏の講演（朱風鳴1976）や尾池（1978b）に詳しく紹介されている。以下、筆者らが直接現地で聞きとった次の3地域の宏観現象について記す。

海城県牌樓公社付近での宏観現象は、主に井戸水の自噴とひかりものであった。

同公社わきにつくられていた井戸の水が、2月3日の夜から水位が急に上昇し、色も変った。4日（地震当日）の朝8時には溢れ出し、昼には間欠的に1mほど高く噴き上った。そして地震はその晩の19時36分におこった。写真（図4.5.1）の井戸がそれである。この井戸は深さ15m、平常の水位は地表から下約5m、手動ポンプの高さは地表上約1mである。当日噴き上った水柱の高さはそのポンプの上さらに約1mであった。したがって平常の



図4.5.1 海城地震の直前に自噴した井戸（海城县牌樓公社傍）

水位から6mである。当時は凍結による障害を避けるためにポンプ内部の弁ははずしてあったので、内部の水は比較的容易に噴き上ることができた。地震後にこの井戸の水は、まえよりも出にくくなつた。地震後には一度もそのような

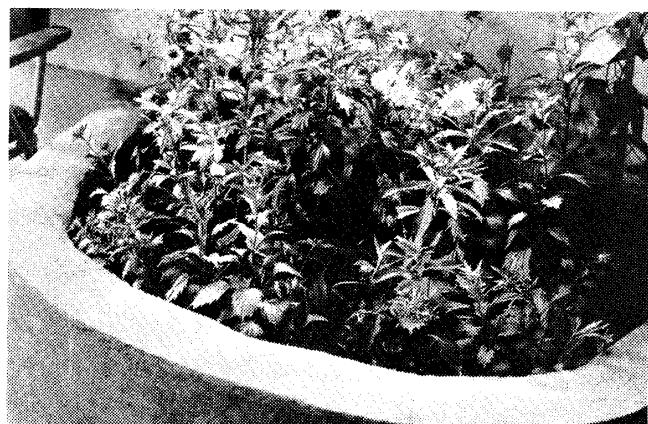


図4.5.2 宏観異常現象を示すかどうかを知るために実験的に植えられているネムなどの植物（辽宁省冶金地质勘探公司102隊の観測小屋にて）

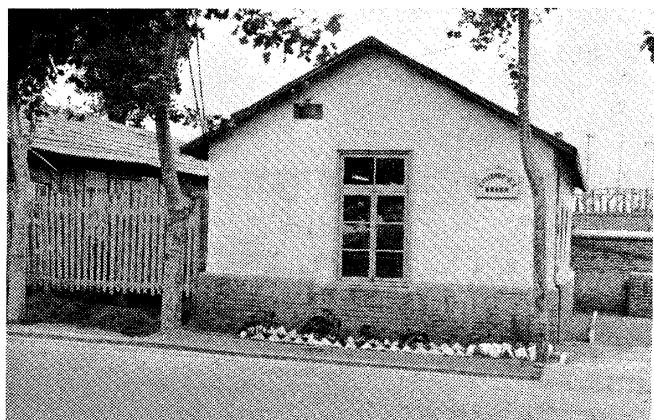


図4.5.3 二つの樹幹間の電位差の観察。中央の2本の樹の幹に電極が打ち込まれている。（小屋は辽宁省冶金地质勘探公司102隊の地震観測小屋）

噴水現象はおこっていな
い。この村にはこのよう
な井戸が100位あるが、
地震前に異常を示したと
いう報告はそのうちの約
20の井戸についてであ
った。

ひかりものについての
同公社丁家沟大隊の孫雅
杰さん（同隊の女性副大
隊長）の話は次のよう
である。大衆からのアヒル

- ・ネズミなどの異常についての報告などから、人々は2月3日の夜から外に出ていた。ひかりものは、地震の時（本震の瞬間直前）に出現した。色は雷の稲光に似ていた。黄色が入っていた。30m位はなれたところで、地表から上へむかって光った。熱くはなかった。その光がでたところには長さ30～40mの地割れができていた。なお、ひかりもののほか、大衆からの報告によるとある家のアヒルが地震の2～3日前に30mとび上り50mも遠へ飛んだ。

孤山公社（海城の東南）二道沟付近には前述のように地震断層が出現したが、この地震断層の西端に位置する头道沟で地震時に顕著な光りものが出現した。部落の震害調査に訪れた趙文峰氏はこの話をそこの人々にきいたが、地光でのたところと地震断層の地割れの位置とはほぼ一致しているという。

なお、宏観現象をとらえるために、营口市にある辽宁省冶金地质勘探公司102隊では地電位などの観測室の中にネムなどの植物を植えていた（図4.5.2）。また、その建物傍にある2本の樹を利用して、それぞれその樹幹に電極をうちこみ、電位差の測定をしていた（図4.5.3）。いずれも何か異常があるかもしれないと思って、試みに観察しているとのことであつた。

营口の西方、辽河の河口近くの水田地帯に水源公社がある。ここでは地震で地割れが多数生じ水と砂が噴出した。とくに人民公社の西部、辽河沿いでそれが著しかった。地割れの幅は1cm～1m、噴砂の水柱の高さは地表から1～2mに達した。地震から30分以内に水が湧き上り深さ1mの水たまりが広く生じた。水のために一軒の家（潘さんという）では、3棟のうち2棟が押しながら家具や食料が土砂で埋った。800世帯の2000の建物がこわれた。建物のうちその40%にひびわれが生じた。灌漑用の52のポンプステーションのうち37が破壊され14万5千の用水路の70%が噴出してきた土砂で埋められた。土砂



図4.5.4 海城地震の振動で床下から噴砂が入りこみ、その砂で埋った室内（辽宁省水源公社にて）

の量は57m³に達した。人民公社の4万5千ムーの土地から砂が噴き出し、そのうちとくに1万ムーでそれが甚しく、土砂の厚さは70cm、体積は60万m³に達した。

この人民公社の建物の床下からも、オンドルの管に沿って噴砂が入りこみ床上に砂が60cmも堆積した。その一部の室がそのまま保存されていた（図4.5.4）。噴き上った砂・水の一部は勢いよく扉を内側からつき破って戸外にでていったという。この建物の前庭の地表からは噴砂は生じなかった。これは戸外の土壤が凍結していて噴砂の通路を妨げたためであろうという説明であった。

このほかこの人民公社では地震時には、稻妻のような地光が観察された。あたり全体が明るくなり、その明るさは満月よりも明るかった。このひかりと同時に地震がきた。

地震の前兆としての宏观現象には、動物異常と地下水がある。地震の5～6日前に、養鶏場のにわとりがさわぎ、6000羽のうち、20～30羽が人の背の高さ位まで飛び上った。養魚場の魚も5～6日前に水面に全部うき上った。

また地下水については地震の2～4日前に個人の井戸の一部が濁った例があった。水位も上っていることが肉眼でわかった。

参考文献

- Haicheng Earthquake Study Delegation (1977) : Prediction of the Haicheng Earthquake, EOS, 58, 236-272.
- 尾池和夫(1978a)：中国における大地震の前兆現象と地震予報、1977年地震学会訪中代表団報告集、135-148。
- 尾池和夫(1978b)：中国の地震予知、NHKブックス333、日本放送出版協会、225p.
- 朱鳳鳴(1976)：海城に発生したM7.3の地震に関する予知・予報と防災の概況、中国地震考察団講演論文集、15-26、地震学会。

5 四川省の地震予知活動

5.1 総論

青木治三

四川省は中国の中南区にあたる。西部は西藏（チベット）高原への入口にあたる山岳地帯（川西高原），東部は主要都成都から広がる四川盆地，南部は云貴（雲貴）高原につながる東西1200km南北800kmの広大な地域を占めている。

地形からもわかるように、四川省およびその南部の云南省はインド亜大陸とアジア大陸の衝突の影響をまともに受けている大変動地帯といえるであろう。このため、中国を南北に通る地震帯の中にあり、地震活動は激しい。

四川省においては、過去2000年の間に、 $M \geq 5$ の地震 180回あまり、そのうち $M 7$ 以上の地震は 12 回記録されている。図 5.1.1 は四川省および云南省の $M 6$ 以上の地震の震央分布を示す。松潘・龙门山地震帯を一部とする南北地震帯が顕著である。それに加えて中央部で NW-E S に延びる鮮水河地震帯があり、云南省の NW-S E の地震帯と平行している。図 5.1.1 に示した河川の方向との相関をみるだけでも、地震帯と新しい構造運動との関連は明らかである。四川省、云南省を含めた地域は広大であるが、地殻 ブロック も大きいらしく、1000km 近くも離れた地域間でも地震活動に関連性があり、次節に述べるように、云南省の地震後に四川省に地震の発生する場合が多く、松潘・龙门山地震帯と鮮水河地震帯との間にも地震発生の順序に規則性のあることが強調されている。四川省地震局の見解では、この地域の地震発生には特徴ある規則性が顕著であり、それが地震の中・長期预报の基礎をなしていることである。

四川省の地震予知への取組みは 1970 年 2 月成都市西方 90 km, $M 6.2$ の被害地震を契機として始まった。予知の手段は実践の中から学びとるという方針であり、現在もその方針に変更はない。予知活動発足後の最初の試練は 1973 年、鮮水河地震帯に発生した $M 7.9$ の炉霍の地震である。この地震の予知は不成功であったが、翌年の 5 月 11 日鮮水河地震帯の延

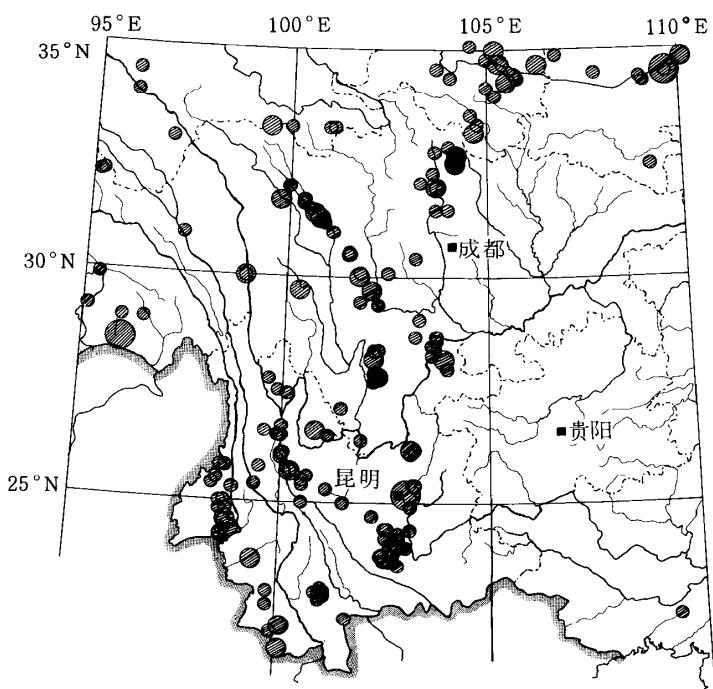


図 5.1.1 四川省、云南省および周辺における地震活動。 $M \geq 6$ 、紀元前 780 年～1976 年 8 月。（中国強震震中分布図による）

長と南北地震帯との交点で発生した永善地震 ($M 7.1$) は、予報についての議論中のできごとであったという。地震予知の努力は更に積重ねられ、専門家と大衆の協力、土洋結合といわれる国内国外の手段の活用、データ数の増加、多種多様の方法の採用等により、中規模地震ではあるが、その予知に成功し、その数も1976年までに10を超えていた。海城・龍陵の予知成功に学び、唐山の予知失敗を反省して予知活動を続け、1976年8月の松潘・平武の3連発の地震予知に大成功をおさめた。その後も監視の手をゆるめず、同年11月7日および12月13日の $M 6.9$ および $M 6.8$ の予知にも成功している。

今回の訪中団は、松潘・平武の強震の予知の詳細を知る目的で現地に赴き、地震局の報告、大衆の観測、すなわち、群測の実態、予知の技術、予報の実際、特に、総合的判断の意味を理解することに重点をおいた。

松潘・平武地震は1976年8月16日22時6分、松潘県と平武県の境 ($32^{\circ}42'N, 104^{\circ}06'E$) に発生し、 $M 7.2$ であった。有感範囲は北西方向で甘肃省高台县 (820km)、南は昆明市 (830km)、南東は湖南省长沙市 (950km)、北東は北京市 (900km)、北方は兰州市以遠 (400km以上) に及んでいる。震央付近では南北に延びる等震度線を画いている。細部をみると、河川に沿ってやや震度が大きい。震源は岷江断裂帶と龙门山断裂帶にはさまれた地域にある南北の断層上にあると考えられる。この断層は南端では東に延びる断層、北端では西に延びる断層をつなぐ位置にある(図5.1.2)。この断層上の地震活動は1回では終息せず、6日後の22日05時49分に南26kmの地点 ($32^{\circ}36'N, 104^{\circ}08'E$) で $M 6.7$ 、さらにその南で、その翌日の23日11時30分には、第1回と同規模の $M 7.2$ が発生した ($32^{\circ}30'N, 104^{\circ}08'E$)。これらの地震は図5.1.1に黒丸で示してある。

この引続いて発生した3個の地震について、それぞれ的確な予報を出し、被害、特に人的な被害を最小限にいくとめることに成功したのである。予知の根拠は、それぞれについて次節以降に詳しく述べるが、地震活動パターンの変化、地震波速度の異常、大きな地殻変動、ラドン変化、大規模な宏观現象の出現等に依っている。なかでも、宏观現象は顕著であり、三回にわたる変動、時間と共に震源域への集中、宏观現象の多様性、出現回数そのどれをとっても目を見張るような現象ばかりである。

1972年1月頃から地震波速度の異常が検出され、1973年春から松潘・龙门山地震帶

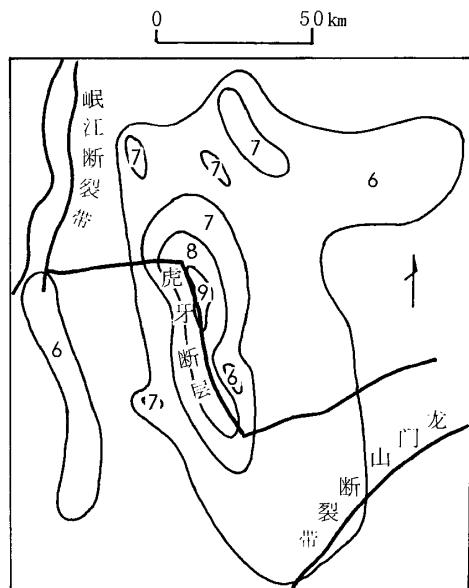


図 5.1.2 松潘・平武地震の震度分布

の活動がはげしくなってきた。1975年になっても活動は一向に衰えず、平武県を中心とした一つの空白域が形成されてきた。松潘県のラドンは変動を示し、同年7月～9月の松潘～南坪間の水準測量および岷江断裂帯での短水准に異常が発見されている。震源付近では秋に宏观現象が出現し始めた。このような資料を検討して、1975年11月、四川省地震趋势会商会は、「1976年上半期、松潘、茂汶（松潘県の南にある自治区）一帯に $M \geq 6$ の地震発生の可能性あり」として、翌年の1月に実施された全国地震趋势会商会に報告した。この見解はそこで確認され全国の重点危険区域の一つとして指定され、予知の活動は強化された。国家地震局、隣接各省の応援、防災教育、観測員の養成、観測点の質および量の増大に務めた結果、各種の異常が観測されるようになった。今回の訪中で見せてもらった各種のデータの多くは、地震発生前の観測期間が短かく、異常の判断に迷う場合が少なくない。

観測開始の時期をみると、いかに観測の強化が進められたかがよくわかる。1972年頭初、わずか80点に過ぎなかった群測点は1976年の半ばには実に4000点の多数にのぼっている。宏观現象を見張る宏观哨にいたっては7600点、25000人以上の数になり、省をあげての大事業となっていた。

第1回の地震情報では松潘・茂汶一帯という範囲であったが、その後、予想地区はやや北上し、平武と南坪の間が重視されたようである。これは多分に、前回は地震活動の経験から範囲が指定され、後に水準測量の結果を重視したものと考えられる。宏观現象も3月頃から増加し、北部へと移動していく。ここでいさか気になるのは予知に関する簡報ができると宏观現象の数が増えていることであり、資料の数の変化には多少注意してみる必要がある。しかし、7月以降の急激な増加は極めて明瞭であり疑う余地はない。

5月29日には云南省の龙陵で $M 7.6$ および $M 7.5$ の強震が発生した。云南省の地震の直後、四川省で地震が発生する傾向が強い（図5.1.2参照）。各種の前兆現象はすでに発見されているから、龙陵地震の発生は重大な意味をもつ。龙门山断裂帯の中にある岷江齿轮厂（群測点）における地電流は5月末から異常を示し、映秀台の地応力方向が頻繁に変動をくりかえすようになったのが4月である。6月の13日には松潘のラドンが急変した。大地震が発生するとすれば、群発している地域の北端か南端であろう。地震発生順番の規則性に従えば、龙陵地震の1～2カ月後の可能性が強い。かくて、緊急会議を開き第2回の地震簡報が6月14日、省地震局から提出された。その内容は「龙门山断裂帯中南部、茂汶・北川（成都北方150km）から康定（成都西方200km）にいたる地域において、ここ1～2カ月に $M 6$ 前後の地震発生の可能性あり」というものである。震源予想地区はやや南下している。マグニチュードは異常発生の範囲を半径約100kmとして推定された。それから重力の移動調査が実施され汶川付近で異常が認められた。

6月の末に、云南省、四川省をふくむ13省の合同会議、中国南北地震帯中段近期地震趋势会商会からやはり同じ結論がでているが、マグニチュードはやや大きく7程度とみる意見

もあった。

7月に入って宏观現象の数は急増し、第2のピークをむかえる。その場所は断裂帯に沿って北上したが、震源域よりは南である。彭县、康中では7月に入って地電流に異常がでてきた。成都地震基准台の重力も異常である。平武県の地電流にも異常があった。しかし、地震統計からは、7月に地震の発生の可能性はやや少ないと判断している（図5.1.3）。

8月に入ると地震の空白域にもはや観測できるような地震は発生しなくなっ

た。この状態は結局地震発生まで継続した。ここで注意しなければならないのは、空白域が震源域となるという考え方ではなく、大地震はその端で発生すると中国では理解されていることである。8月に地震が多いという統計もあって、8月2日と7日に省地震局より「8月特に8月13日～17日と23日前後、龙门山断裂帶中南部茂汶・北川あるいは康家泸定あたりにおいて $M \geq 6$ 、はなはだしければ $M 7$ 前後の地震発生の可能性あり」との短期预报が提出された。地震発生の時期を限定したのは、異常発生からピークになる時間とピークから地震発生の時間がほぼ等しいという経験を利用しているらしい。

8月10日から8月14日までは大動物をふくむ宏观現象が、震源付近に集中する傾向がでてきた。ここで興味深いのは地域によって地震情報の内容表現に若干のくい違いがあることである。震源地区にあたる平武县では、省地震局が広範囲の地域のどこかという形で震源域を推定している時点で、すでに松潘・平武一帯の可能性を発表している。8月11日震源から340kmの姑咱のラドンがスパイク状の変化をみせた。経験によると一週間後が危険という。省の党委員会は各地へ临震预报を発表、特に松潘・平武の両地域の関係者は直ちに临震警備につくことを要求された。12日から14日にかけ、平武县では避難、家畜・物資の安全地区への移動が始まっている。平武县の地電流はパルス状に変動し、15日～16日に特に異常である。前震は全く観測されない。震央東南50kmの深井戸の水位は16日19時30分急激に低下、ふたたび上昇して22時06分、 $M 7.2$ の主震が発生した。避難命令でのたあとであるため、家屋の倒壊90%にもかかわらず人畜の被害は最少限にとどまった。しかし、山崩れによる死者は若干でたようである。

この地区の地震活動には群発性が強い。 $M 7.2$ の地震後も警戒をゆるめず、各種の観測は続いている。特に平武县の活躍は目覚ましい。余震活動の変調、18日からの宏观現象の増

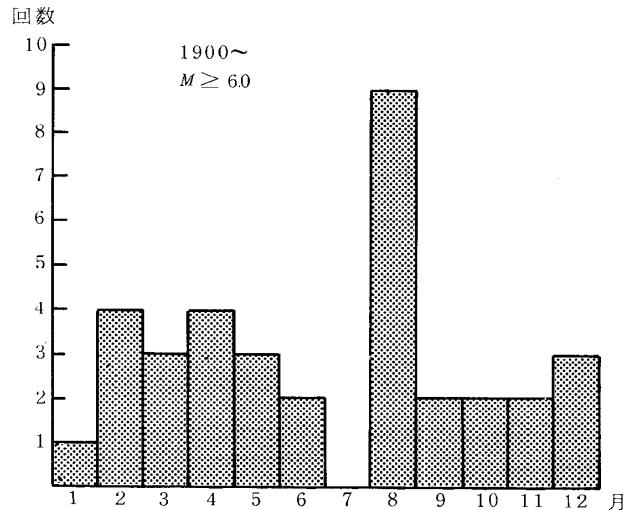


図5.1.3 1900年以後の強地震 ($M \geq 6$) の月別頻度分布

中国の地震予知の現状

加、古城での地電流変化、21日の養魚池の異変等があり平武県緊急会商会を開き、地震発生の可能性の高いことを確認した。しかし、宏観現象の規模は16日以前より小さいことからM6前後と推定した。発生時期は不明であるが、少なくとも翌朝までは厳重な警戒を要するとして、「今晚9時から22日朝7時までの間にM≈6の地震発生の可能性あり」という臨震预报を行なっている。予測通り、朝5時49分M6.7が発生した。このような緊急の予報は国家地震局あるいは省党委員会の承認を必要としない。この临震预报は县革命委員会の責任で発表されている。さらに、23日午前0時には「24時間内に南でM7.2の可能性あり」と三回目の临震预报を出している。M7.2としたのは、宏観現象が第1回と同程度であったことによる。実際に発生したのは23日11時30分、M7.2であった。

このように、松潘・平武の3回にわたる地震の予知に成功している。前震がないのに临震预报が出せたのは主として顕著な宏観現象が震央地区に集中して発生したためであろう。前震がなくて临震预报のだせなかった唐山地震（1976年7月28日）も貴重な経験となつたに違いない。唐山地震といえば、数十万人ともいわれる被害を出したが、このニュースは四川省、特に成都市に大きな不安を惹きおこしたらしい。しかし、震源域は成都から遠いという説明で市民は納得したようである。

最後に、四川省および震源域の平武县から提出された活動報告を掲載しておく。これらの表と、次節以降に続く各論とを比較すれば、予知活動の概要が理解できるであろう。特に、地震発生の場所について両表に差があるが、行政的配慮がなされているためと考えられる。

表 5.1.1 松潘・平武地震の主な予知過程(四川省)

1975.11 省地震趋势会商会	1976年前半、松潘・茂汶一帯にM6あるいはM6以上の可能性あり	1976.7.16 および7.24 “地震简报”第3期および第4期、前後して発表	ここ1~2ヶ月内の地震の危険性はあるが、1周間以内から7月末以前の可能性は比較的小さい
1976.1 全国地震趋势会商会	上述の見解を認め、全国重点危険区の一つとして登録		
1976.6.14 “地震简报”第2期	龙门山断裂带中南部・茂汶・北川から康定において、1~2カ月内にM6程度の可能性あり	1976.8.2 および8.7 “地震简报”第5期と第6期に分けて発表	8月頃、特に8月13日、8月17日と8月23日前後、龙门山断裂带中南部茂汶・北川あるいは康定・泸定一帯にM6あるいはM6以上ないしM7位の地震の可能性ありと指摘
1976.6月下旬 中国南北地震帶中段 近期地震趋势会商会议(会議)	ここ1~2カ月のうちに龙门山断裂带中南部にM6あるいはM6以上の危険性あり		
1976.6月末 上述の会議と地震局専門汇报(専門彙報) に基づき、四川省委員会は文書指示の発表	ここ1~2ヶ月内に龙门山断裂带中南部にM6以上の危険性あり。	1976.8.12 凌晨四川省委は省防震抗震指揮部と省地震局に電話連絡による発表の指示	[命令] 各レベルの地震弁公室、各専門観測所、群測点と绵阳・阿坝・温江等の関係ある地区は直ちに临震防備態勢に入れ

表 5.1.2 松潘・平武地震予知過程における平武県地震台の活動

1975.11	表 5.1.1 と同じ	1976.8.12	表 5.1.1 と同じ
1976.1	同 上	1976.8.12～ 8.14	临震防備態勢で要求さ れる事項を完了し、人家 畜・物資はすでに安全地 区に移動
1976.1	平武地震台正式に観測 開始	1976.8.16	M 7.2 の強烈地震発生 松潘・平武境界地区
1976.6.14	表 5.1.1 と同じ	1976.8.17	四川省地震局、平武地 震台に“現場震情分析班” 設立
1976.7.30	将来大地震が我県西北 の松潘・平武一帯におこ る可能性あり	1976.8.21 夜半 平武県緊急会商会	今晚 21 時～22 日 7 時までは本震地区に M 6 程度の可能性あり
1976.8.2と 8.9	表 5.1.1 と同じ	1976.8.22 5 時 49 分 1976.8.23.0 時 平武県緊急会商会	松潘・平武震源地区に M 6.7 の余震発生 24 時間以内に震源地 の南側で M 7.2 位の強烈 地震が発生すると思われ る
1976.8.9 平武県第 2 次震情会 商会	将来大地震が松潘・平 武一帯におこる可能性が あるので、省地震局の発 表した三つの地震発生時 について特に注意する必 要あり	1976.8.23 11 時 30 分	震源地南方 10 km に M 7.2 の余震発生
1976.8.11 平武県防震抗震会議	13 項目の防震・抗震 措置を制定し、各レベル の組織に指導して具体的 な部署を作った		

(名大地震予知観測地域センター 印貢俊子訳)

5.2 地震活動

青木治三

松潘・平武地震は総論でふれたように、龙门山断层そのものの活動ではなく、龙门山断层と岷江断层にはさまれた地区内の活動であって、地表に活断層の証拠が明らかではない虎牙断层上に発生した。しかし、3回の地震の初動分布は図 5.2.1 に示すように、東西圧縮の主応力を示し、この地域の主応力と調和的である。震度分布（図 5.2.1）および余震分布（図 5.2.2）と比較すれば太い線で示した南北の節面を断層面とするのが妥当である。もう少し詳しくみると、3個の地震は北から南へとならび、断層面は北の東落ちから南の西落ちへとねじれている。虎牙断层の走行も北と南では多少違い地震節面と調和する。これらの地震は虎牙断层上に発生したのは事実であろう。震源の深さは 15 km, 10 km, 22 km と発表されているが、M 7.2 にもかかわらず、地表に断層が現われていない。多分震源は深いものと推定される。

それぞれの余震分布からみて、地震は北から南へ移動しているが、破壊の方向は逆に南から北へ (M 7.2, M 6.7), 最後 (M 7.2) は bi-lateral と報告されている。したがって

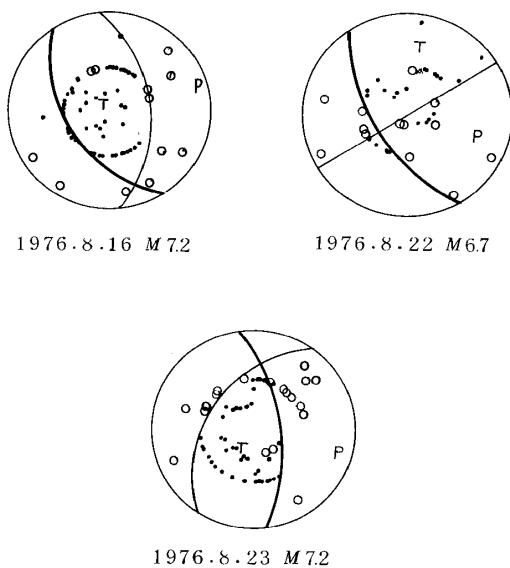


図 5.2.1 松潘・平武の三地震の初動分布
上半球をウルフネットに投影。太線の節面が断層面と考えられる。

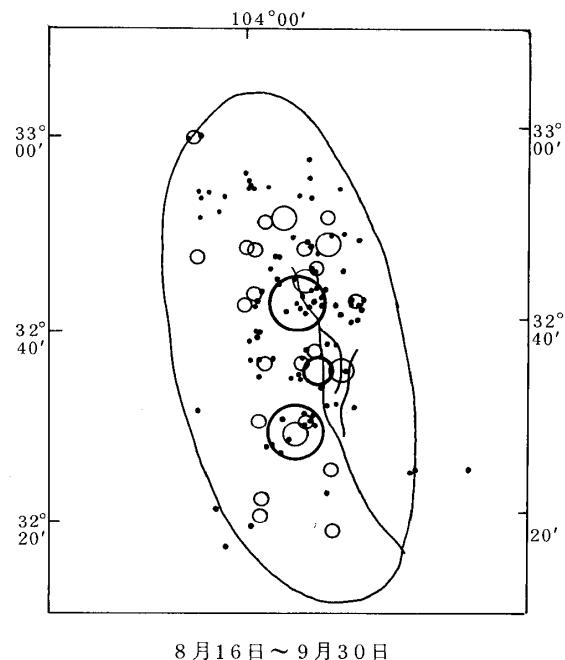


図 5.2.2 松潘・平武地震の主震と余震の分布

破壊は単純に進行したとも思えない。この地域の地震が群発的であることと無関係とは思えない。地震の群発性は予知の判断資料の一つである。松潘・平武の北西地域では1973年5月8日M 5.2, 8月11日M 6.2, 1974年1月16日M 5.8, 11月7日M 5.2と群発したことがある。同じ地区で1969年の松潘・平武地震のあとにも大地震発生の可能性を残し、第2回、第3回の予知に重要な役割を果している。

松潘・平武地震の予知の概要は総論に述べた通りであるが、地震活動から如何なる予測が行なわれたか項目別に紹介する。

a) 震源移動の規則性

図 5.2.3 は、四川・云南両省に発生したM 6以上(116BC～1976)の分布で、黒く塗った震央は $M \geq 7$ で最近50年間に発生したものである。発生順にA, B, …とした。M, Nが1976年の松潘・平武

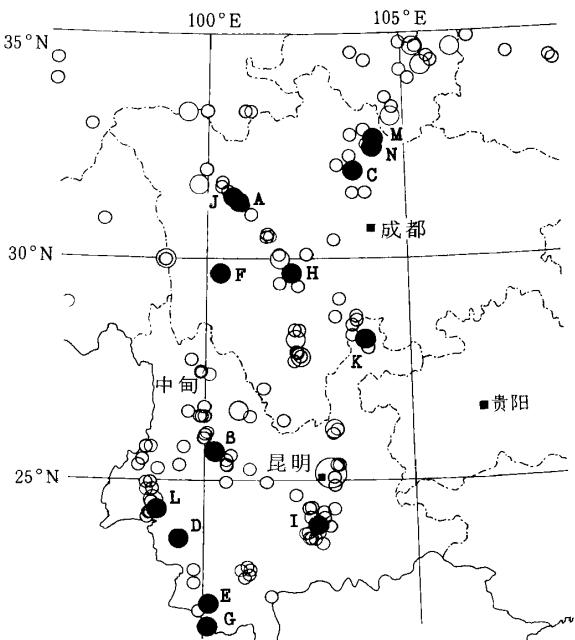


図 5.2.3 最近50年間に発生したM 7以上の地震(黒丸)。発生順にA, B, C, …とする。M, Nは松潘平武地震、白丸は図 5.1.1と同じ。

地震である。これらの地震は南北1000kmの間に分布し、南から北、北から南へと移動し、たまたま同じ側で起こった地震(D, E), (M, N)は時間間隔(D~E=7カ月10日, M~N=7日)も距離も近い。

これらの震央の緯度と時間の関係を示したのが図5.2.4である。1974年に発生した永善地震(K)を除き、四川省と云南省の地震発生は交互に繰りかえしている(韓渭宾, 1978)。

陳天長(1978)は図5.2.3のC, N, Mのある松潘・龙门山地震帯とJ, AからHに続く鮮水河地震帯との間で同じような関係を我々に紹介してくれた。結果は図5.2.5にあるように、

両者は約300km離れているにもかかわらず、大地震の発生

は交互に繰りかえしている。この図にはM6の中規模地震が入っているが群発性の傾向が強い。鮮水河地震帯で大地震が発生すると間もなく松潘・龙门山地震帯に震源が移動する。この図でみる限り間隔は次第に短くなっているようである。松潘・平武地震の前には、数年で地震になるだろうと予想された。

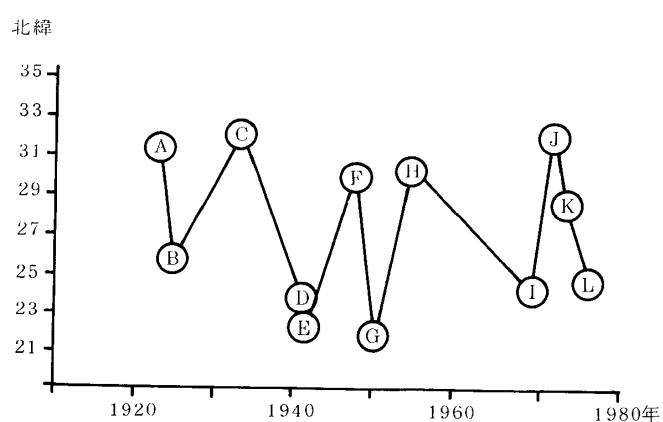


図5.2.4 川滇大震の南北移動図
A, B, ……は図5.2.3と同じ地震

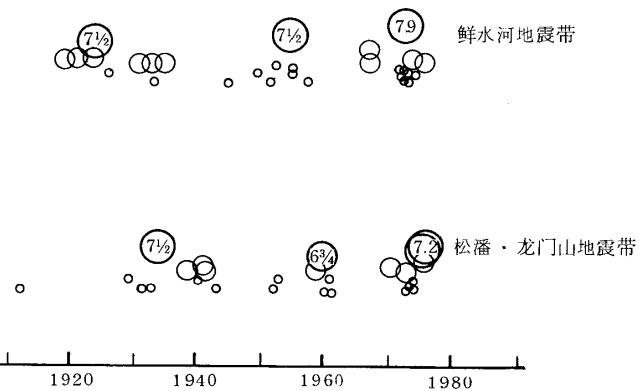


図5.2.5 鮮水河地震帯と松潘・龙门山地震帯の対応関係

$$V_P/V_S$$

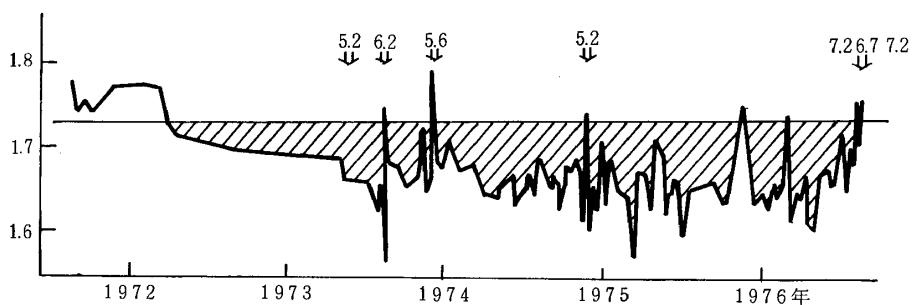


図5.2.6 震源地区における地震波速度の変化

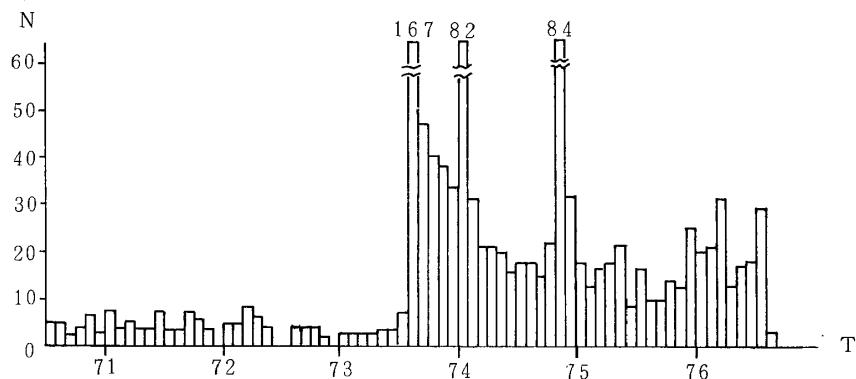


図 5.2.7 松潘・龙门山地震带における月頻度の変遷

図5.2.4は $M \geq 7$ の場合である。 $M \geq 6$ にすると期間は更に短くなる。歴史的には1933年6月7日の中甸地震($M 6\frac{1}{4}$)の次は同年8月25日の茂汶地震($M 7.5$, 図5.2.3のC), 1941年5月16日の耿馬地震($M 7$, 図5.2.3のD)の1カ月後には天全($M 6$, 図5.2.3のHの上の白丸)が発生している。したがって, 1976年5月29日龙陵(L)に $M 7.6$ および $M 7.5$ が発生したときには天全付近に地震発生が差し迫っていると判断されたのも無理はない。

b) 地震波速度の異常

微小地震の観測から V_p/V_s を監視していたところ、震源域において1972年2月から地震波速度に異常があらわれた。1973年から地震活動は活発化したのでデータは比較的多い(図5.2.6)。データにかなりの分散がみられるが、そのいくつかは他地区での地震発生に関係あると考えられることもない。全体としては V_p/V_s は低いレベル1.67を保ち1976年7月には V_p/V_s は正常値1.73にもどる気配を示している。 V_p/V_s の異常は5カ月も継続している。西部地区の経験式にあてはめると $M=6.8$ となるが、1976年6月には $M > 6.5$ として報告した。

c) 地震活動

図 5.2.7 は松潘・龙门山地震帶中に発生した地震の頻度である。泸霍地震 1 カ月後に松潘の北東で M 5.2 が発生した。これを契機としてこの地震帶は新しい段階を迎えた。活動は消長を繰りかえすもレベルは依然として高い。 $M \sim 5$ は 4 回、最高 M 6.2 であった。1976 年に入っても活動レベルは同じであったが、8 月に入ると激減し、大地震の切迫した様子が伺える。地震の頻度をみるだけでは 1973 年 8 月から大地震直前まであまり変化のあるように見えないが、震央分布には空白域の形成、その縮少、地震分布の移動等の特徴がみられる。1970 年以前は観測点が少なく、地震活動は不明であるが、1971 年～1972 年の震央分布は地震がほぼ均質に発生していることを示す（図 5.2.8）。後程空白域になる地域内にも M 3 程度はいくつか見られる。1973 年 3 月になると b 値が変動をはじめ 5 月には図の中央やや上で、さきに述べた群発地震が始まった。その南東側では $M > 3$ の地震が発

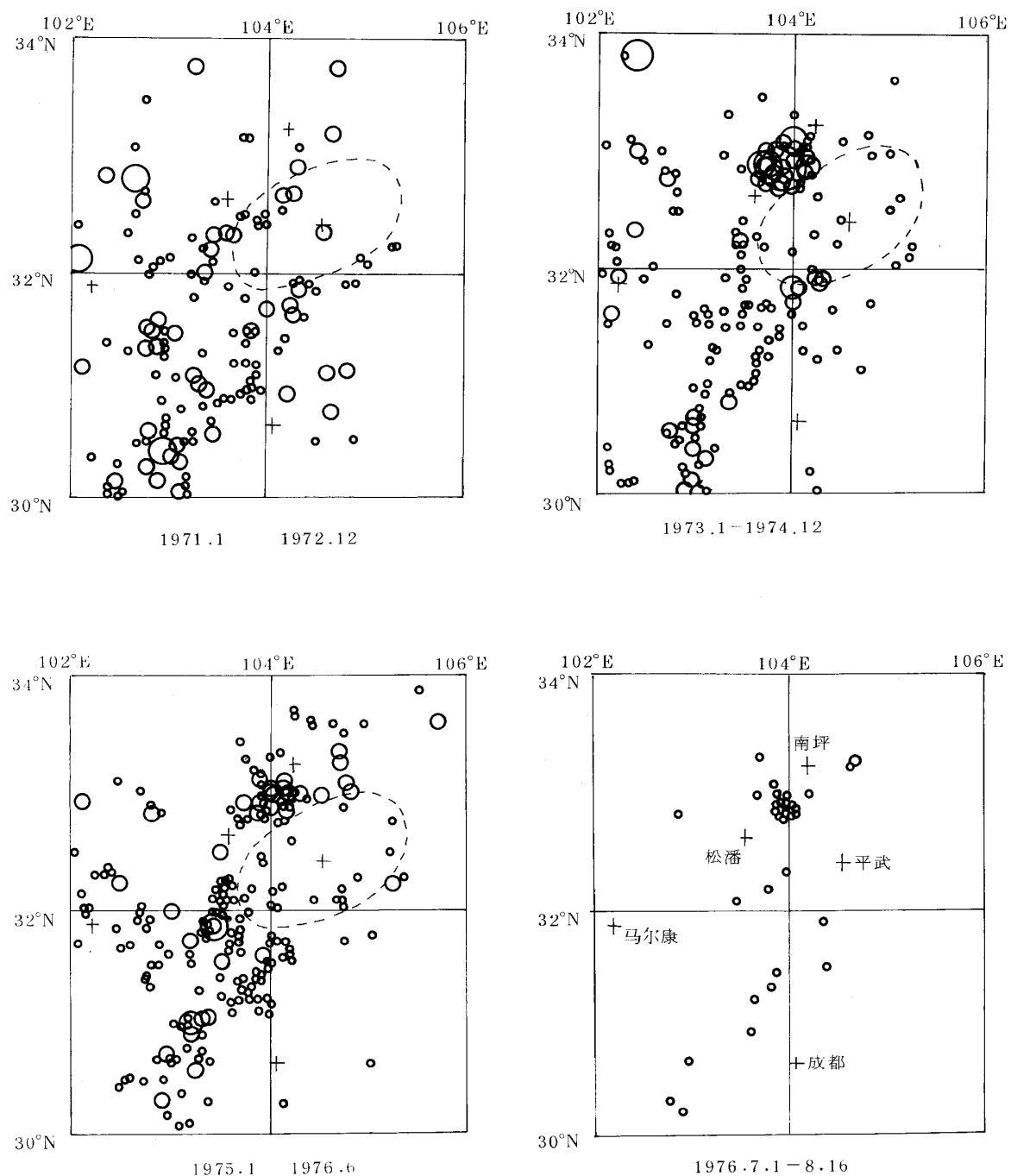


図 5.2.8 松潘・平武地震前の地震活動の変化
点線で囲まれた地域が空白域とみなされる

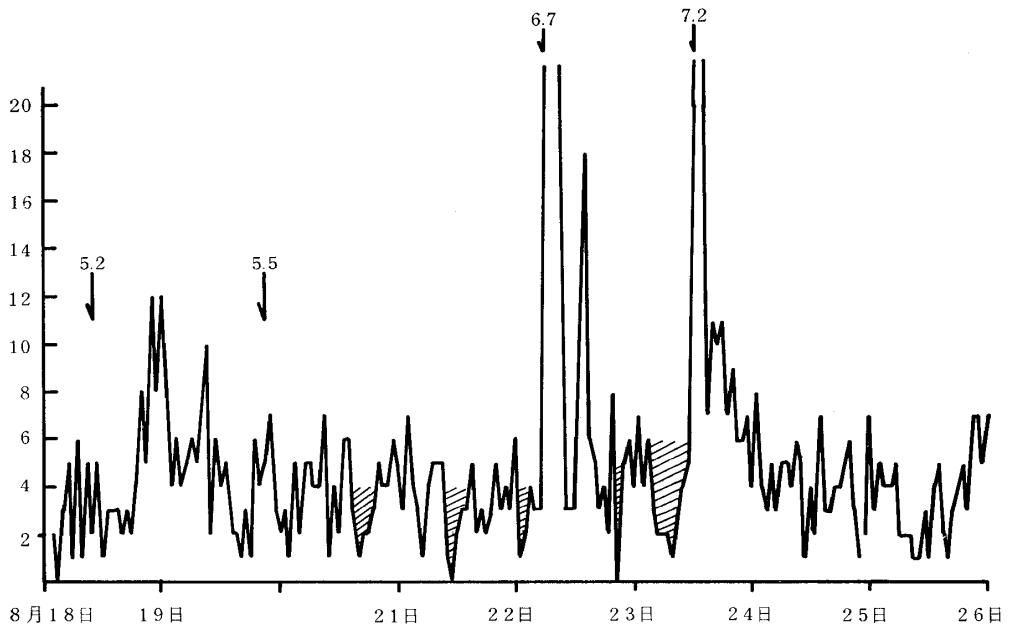


図 5.2.9 松潘・平武地震活動変化

最初の $M 7.2$ 以後地震の 1 時間当たりの回数を示す。斜線を
ほどこした時間帯は地震が異常に少ないと判定した。その
判定には、地震の大きさも考慮に入れている。

生しなくなり一つの空白域ができるかかるが、小さい地震はまだ発生している。1975年になると、茂汶に NNE 方向の活動がはげしくなり空白域をとり囲む形となる。平武付近の空白域は明瞭になってきた。この図で、茂汶の活動とさきの群発地震の間にギャップのあることに注意してほしい。ここに発生したのが松潘・平武地震である。陳天長によると、四川省では大地震の前に、その地域の周辺で地震活動が強くなるという。茂汶から南西にかけて地震が並んでいるが、この方向は龙门山断裂带とは 20° 程方向が異なる。この断裂带とは異なる深部の構造をあらわしているもので、大地震が発生するとすれば、その北東端か南西端が震源となるのではなかろうか。中短期预报に茂汶という地名がでてくる理由の一つはここにある。最終段階の 8 月になると、16 日の地震発生まで、活動は著しく低下した（7 月の 29 回に対し、8 月は半月で 3 回しかない）。空白域内に震源はない。この時点での検知能力は $M 1.8$ であるから、微小地震すら発生しなかったことになる。かくて松潘・平武地震は全く前震を伴わなかったことになる。

微小地震について松潘・平武地震の震央の位置からの距離が時間的にどのように変化するかを調べてみると、空白域の存在のため近距離の微小地震は少ない。その範囲をみて空白域の大きさがわかる。最初空白域ができるとき（1971年末）は当然範囲は時間と共に大きくなる。しかし、1974年8月を境にして縮小し、その範囲が0に近くなる時期に大地震が発生した。もし、あらかじめ震源が推定されていれば予知に役立てるができるだろう。

余震活動は図5.2.2の幅30km、長さ70kmに集中している。 $M=5\sim 6$ は5回、 $M=3$ 以上の余震の発生域は主震の震度7の区域に発生している。観測できる最小の地震は $M=2$ 程度で430回近くも計測された。

図5.2.9は平武地震台で紹介された本震後の地震の頻度である。斜線をほどこした部分が異常に静穏と判断され引き続く地震の予知に利用された。

9月に入ると地震活動は衰えた。余震域外の地震活動は正常に戻った。8月16日～21日までの b 値は1.25、8月23日～9月30日の b 値は1.2で有意の差があるとは思えないが、主震前の余震域内の b 値0.8にくらべ明らかに大きい。

四川省の見解では松潘・龙门山地震帯の活動は未だ終息せず、事実1977年4月に茂汶で $M=4$ 以上、1978年7月13日黒水において $M=5.4$ が発生した。黒水地震は予知されているが、地震活動のデータは使用しなかったらしい。この地震については都江堰火力发电厂の群測点における地音による地震予知が興味を引く。

地下50mの岩盤に圧電素子をおき、出力を増幅して磁気テープに録音あるいは整流波形を記録紙に書いている。7月9日夜パルス状の記録がみられ10日午前1時から録音できるようになった。12日になると、それまでの間欠音は連続音となり、13日5時49分の地震を迎えることになる。震源はN17°E 148kmの点であるから地音は岩盤中の微小破壊と考えられる。予知は地電流、地応力、水平振子等をも活用して実施されているが、地音は高周波地震波の利用であるのでここで紹介した。

地震観測の技術については他の省と大同小異があるので省略するが、岷江齿轮厂の群測点は特筆に値する。近隣の工場と協力し、観測壕から地震計にいたる各種測定器を自力で製作し、予知の観測を実施している。四川省では雑微動が少なく10万倍以上の観測が容易である。また、雑微動の小さい故か、地震の初動の切れがよく、昼夜同じ精度で観測が可能である。強いて難点をあげれば刻時精度が不十分であるが、テレメータ化の計画もあり、この点は改善されるものと思われる。

参考文献

- 韓渭宾(1978)：松潘・平武地震预测预报の概況 1978年9月13日、日中学術交流報告会(成都)において発表。
- 陈天长(1978)：地震活動、1978年9月13日、日中学術交流報告会(成都)において発表。
- 罗灼礼(1978)：松潘・平武地震における地震予報と震災対策、技術と経済、No.140, 76-90。
- 李兴龙(1978)：松潘・平武地震予測予報の概況、1978年9月18日、日中学術交流報告会(平武)において発表。

5.3 地殻変動・重力

萩原幸男

a) 長水準

図5.3.1の実線が長水準路線である。測量は水準点（金属標）間隔5kmを1日で往復する。平地においては、標尺間隔は平均70mに保つ。震央付近の測量は松潘・南坪間150kmについて、1960年にWild N2を用いて3等測量をしたが、それ以後、地震直前までZeiss Ni 4によって1等測量を3回実施した。地震直後にも1等測量を1回実施した。表5.3.1には、上記の震央地域の長水準の他に、その周辺部の測量をも併せて、実施期間、路線長、使用器械を与える。

表5.3.1 四川省北部の水準測量

	期数	期間	路線長	使用器械
松潘 - 南坪	1	1960	150 km	Wild N2
	2	1975.7-9	150	Zeiss Ni 4
	3	1975.9-11	150	Zeiss Ni 4
	4	1976.6-8.15	150	Zeiss Ni 4
	5	1976.8.24-10	150	Zeiss Ni 4
松潘 - 汶川 - 瓦切	1	1957~1959	536	Wild N3
	2	1975	536	Zeiss Ni 4
松潘 - 汶川	3	1976	186.5	Zeiss Ni 4
汶川 - 灌县	1	1957	96.7	Wild N3
	2	1976.6-8	96.7	Zeiss Ni 4
成都 - 綿陽	1	1954~1956	136.3	Wild N3
	2	1970	136.3	Zeiss Ni 4

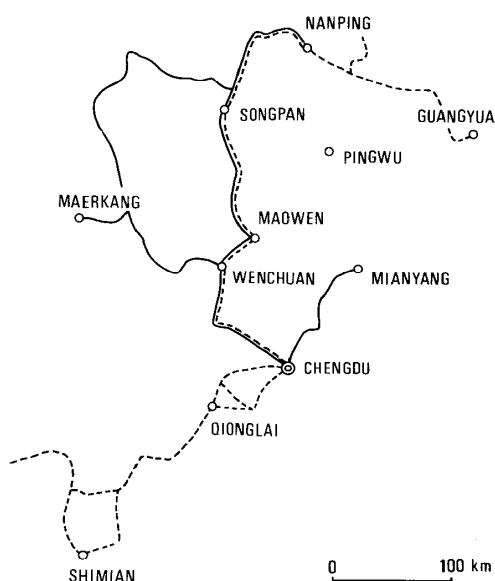


図5.3.1 四川省の水準路線（実線）と重力路線（点線）

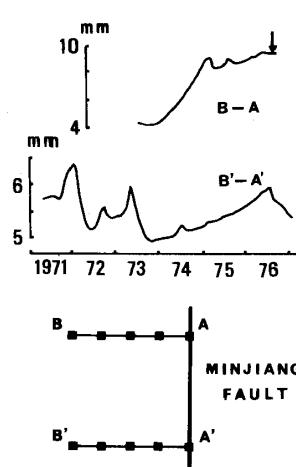


図5.3.2 松潘台の短水準変化（張、1978）原図の写真がなく、スケッチによって復原したので、変動の細部は信頼性に乏しい。

松潘・南坪間では、1960～1975年の地殻の垂直変動は、互に35km離れた2地点において、それぞれ-135mmと+177mmが観測されている。松潘・平武地震の震央であることから、恐らく断層の先行的運動であったかも知れない。1975年以後の測量は精度も向上し、0.4mm/km程度となった。震央付近の路線100km以上にわたって観測されていた10mm程度の隆起は、地震後は沈降に変わった。沈降量は最高で20mm程度である。

b) 短 水 准

松潘にある短水准観測点（松潘台）には、268mと253mの互に約200m離れた2測線が、岷江断層にはほぼ直交して設けられている。2測線をそれぞれ仮にA-B, A'-B' と呼び、AおよびA'が断層の東側であるとする。図5.3.2にA, A'を基準としたB, B'の高さの変化を示すが、とくにA-Bにおいては、1974年頃から、BがAに比べて5mm程度の上昇、つまり岷江断層の西側が隆起している。断層をはさむ短水准の反復はかなり効果的であるようだ。

c) 重 力 測 量

図5.3.1に示すように、重力の流动測線（移動観測線）は必ずしも水準路線と一致していない。一致している場所でも、重力と水準測量とは実施時期が一致しているとは限らない。地震前に2回、地震後に1回実施された。これらを便宜上I, II, IIIと呼ぶことにする。表5.3.2に使用した重力計、路線長などを与える。重力計は同種のものが同時に2台使用された。

表5.3.2 四川省の重力測量

測 量	期 間	重 力 計	路 線
I	1974年10月	ZS-67	成都-碧口(560km)
II	1976年6月19日-26日	CG-2	成都-迭溪(301km)
III	1976年10月	ZSM-III	成都-南坪(450km)

重力測定法は図4.2.8に示す双次三程法であって、重力変化の標準誤差は

$$|II - I| < 60 \mu\text{gal}$$

$$|III - II| < 50 \mu\text{gal}$$

$$|III - I| < 64 \mu\text{gal}$$

である。また重力変化の判定基準は

$$|II - I| \geq 180 \mu\text{gal}$$

$$|III - II| \geq 150 \mu\text{gal}$$

$$|III - I| \geq 200 \mu\text{gal}$$

であって、この基準をこえると異常な重力変化と判断する。

図5.3.3に地震前の重力段差変化II-I（図では実線）および地震後の段差変化III-Iを

示す。段差変化とは隣り合う 2 測点間の重力差の変化で、水準測量の比高の変化に相当する。川主寺—南坪の地殻垂直変化は、地震前後でせいぜい 10 ~ 20 mm であるのに対して、200 μgal もの重力段差変化があったことになる。この現象の説明はなされなかった。

d) 重力計のドリフト異常

成都から北西に 38 km、走石山に成都地震基准台がある（図 5.3.4）。山腹に半地下式の重力観測室があって、As k-

ania GS 15 型が連続写真記録をとっている。紙送り速さ 16 mm／時、記録紙上の感度は 4.21 $\mu\text{gal} / \text{mm}$ である。重力計は恒温槽に収められ、それは小さな観測小屋に収められ、さらにそれは大きな煉瓦建物によっておおわれている。

松潘・平武地震の前、約 1 ヶ月にわたって、この重力計のドリフト量に異常な変化が見られた。ドリフト量は増加して、元に戻った時に地震が発生した（図 5.3.5 参照）。成都地震基准台は震央より 200 km も離れているが、中国では、各種の先行現象がかなり広範囲に発生する傾向にある。ドリフト量の異常がみられた同じ時期に、基准台付近一帯に宏观異常が集中して発生した（朱、1978）。

この事実から、地殻に何らかの異常が発生したと考えてもよからう。

e) 傾斜観測

成都地震基准台には水平振子傾斜計が 2 成分（NS, EW）、ともに固有周期 1.3.2 秒、写真記録紙上 $0.0444'' / \text{mm}$ であ

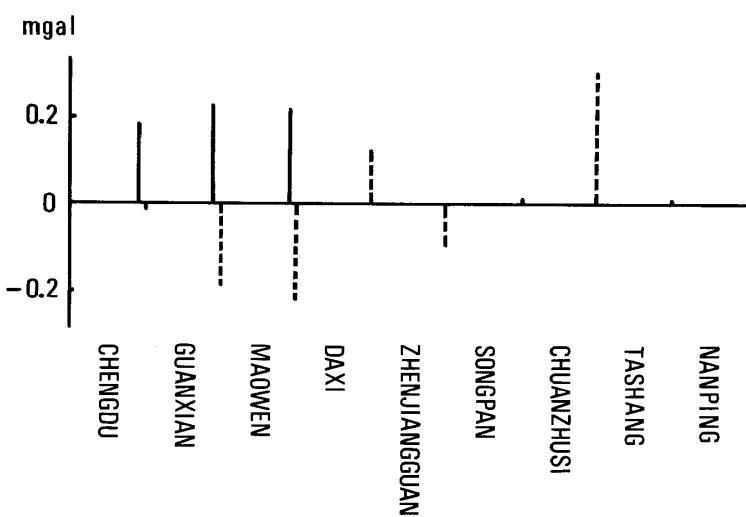


図 5.3.3 重力段差変化。実線は地震前の段差変化（1974 年 10 月～1976 年 6 月）、点線は地震後の段差変化（1974 年 10 月～1976 年 10 月）。

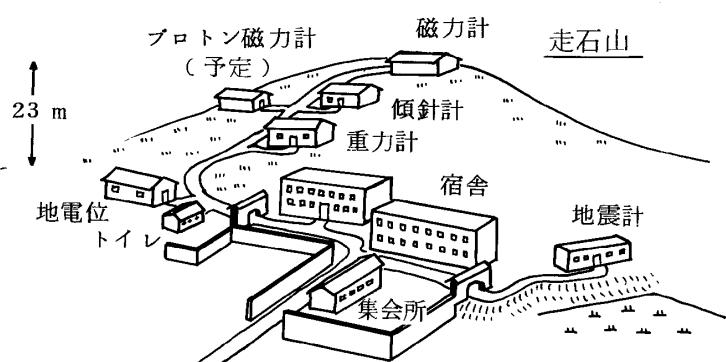


図 5.3.4 成都地震基准台の施設配置図

る。都江堰发电厂、および彭县岷江齿轮厂（図 5.3.6）の群測点にも Be-Cu の吊糸をもつ Zöllner 式水平振子傾斜計が 2 成分おかれている。興味深いことは、両群測点には、精密級の化学天秤が 2 個ずつ置かれていて、天秤の傾きで一種の傾斜観測を続けていることである。天秤の傾きは目盛を mm 単位で読みとり、地震の 1 カ月程前から変化が観測された

という。

平武地震台にはレーザー傾斜計が設置されている。レーザーから発射された光は半透明鏡によって4.8m下方にあるガラス板と水銀面によって反射してくる。2つの反射光の干渉縞はすりガラスの上にリングを作る。水銀面がガラス板に対して傾斜すると、このリングはひずむ。ガラス板と水銀面との距離は30mm、干渉縞の動きに対する水銀面の傾斜は0.18/mmである(図5.3.7)。

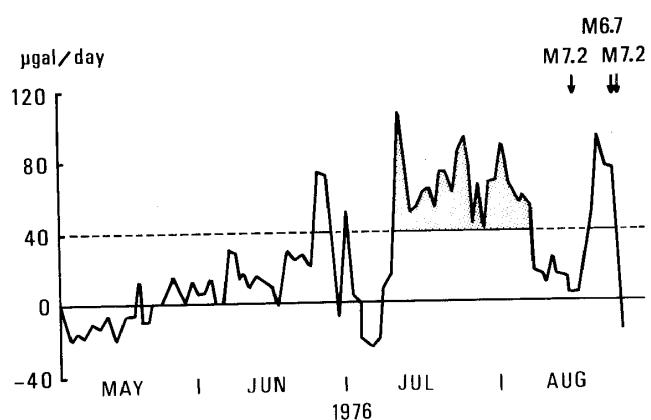


図5.3.5 成都地震基准台における Askania G 15型重力計ドリフト異常(杨, 1978)。

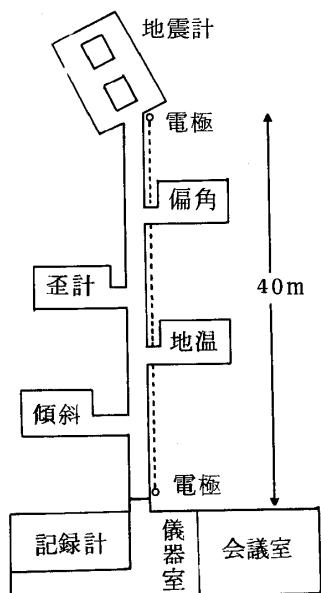


図5.3.6 彭县岷江齿轮厂群测点における観測坑内配置図

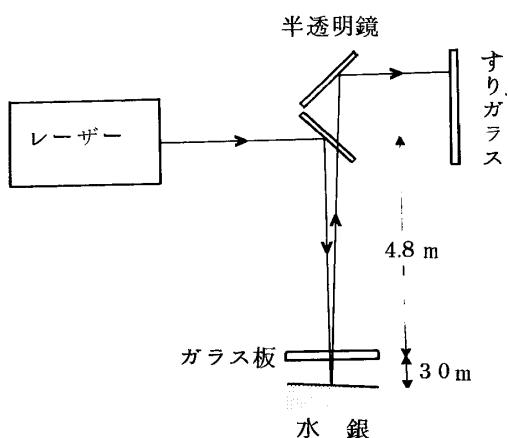


図5.3.7 平武地震台のレーザー傾斜計の原理図

参考文献

- 张定千(1978)：松潘・平武7.2级地震前地殼形变特性及预报概况的介绍，1978年9月13日，日中学术交流报告会(成都)において発表。
- 杨玉明(1978)：關於松潘・平武地震前重力场变化，1978年9月13日，日中学术交流报告会(成都)において発表。
- 朱皆佐(1978)：松潘・平武地震宏观前兆简介，1978年9月13日，日中学术交流报告会(成都)において発表。

5.4 地磁気・地電流

力 武 常 次

a) 都江堰发电厂

この群測点においては、地磁気偏角、地電位差の観測が行なわれているが、松潘・平武地震に先行する著しい変化に関する報告はなかった。

1978年7月13日、震央距離 N 53°W, 120 km の黒水に M 5.4 の地震があったが、傾斜や地声などとともに地電流に異常を観測し、短期および震兆预报に役立った。

b) 四川省地震局

9月13日、成都锦江宾馆にて四川省地震局のメンバーによる講演があったが、韓渭宾は「松潘・平武地震预测预报情况简介」と題する講演において、松潘、平武、彭县、康中、成都、眉山等において、地電流の短期および震兆异常を観測したことを述べた。特にその単位が必ずしも明瞭ではないので、図は省略する。

乘富（1978）は四川省地震局提供の地電流、比抵抗の松潘・平武地震に関する異常を数多く報告している。

c) 成都地震基准台

ここでは、地磁気3成分、無定位磁力計、比抵抗観測などが実施されている。比抵抗観測用として、N 57°E 方向に 736 m の間隔で電流電極があり、電圧電極の間隔は 226 m である。また N 47°W 方向には、それぞれ 846 および 270 m である。200 V, 1 A の電流を用いて毎時観測を行なっている。松潘・平武地震に先行して、図 5.4.1 のような変化が観測された。また井戸のなかに水中電極を設けて試験的に地電位差観測が行なわれている。

図 5.4.2 は、松潘・平武地震に先行する無定位磁力計、偏角変化計および大邑における比抵抗変化を示す。

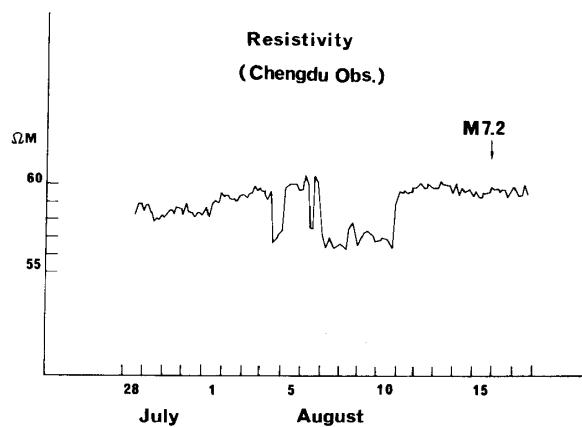


図 5.4.1 成都地震基准台における比抵抗変化

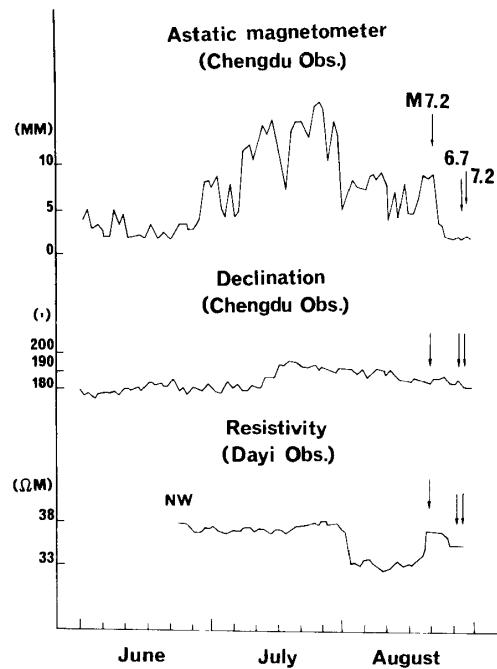


図 5.4.2 成都地震基准台における無定位磁力計および偏角変化計の記録と大邑臨時観測点における比抵抗変化

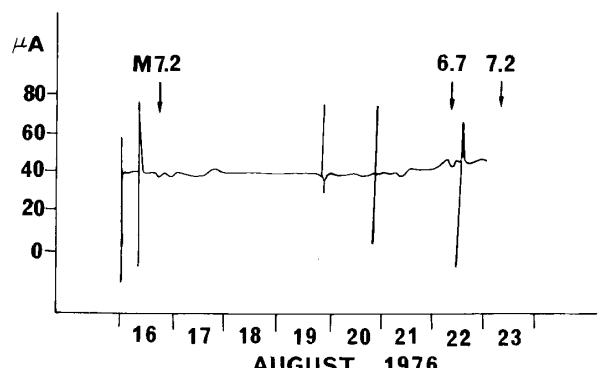


図 5.4.3 綿竹富新中学における地電位差変化

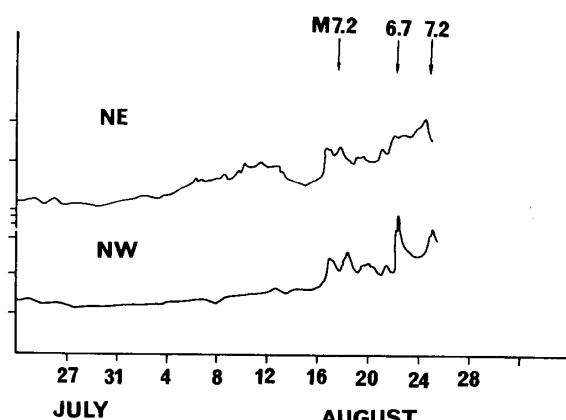


図 5.4.4 岷江齿轮厂における地電位差変化

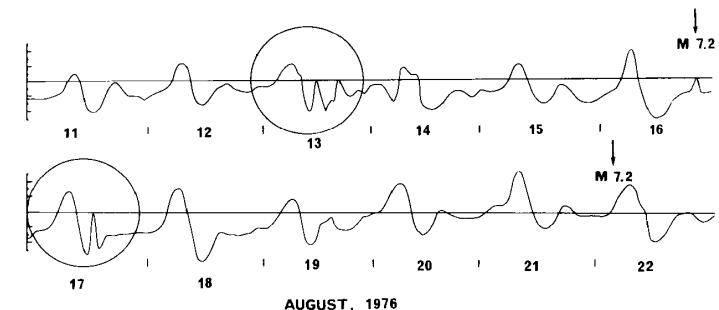


図 5.4.5 岷江齿轮厂における偏角変化(単位不明)

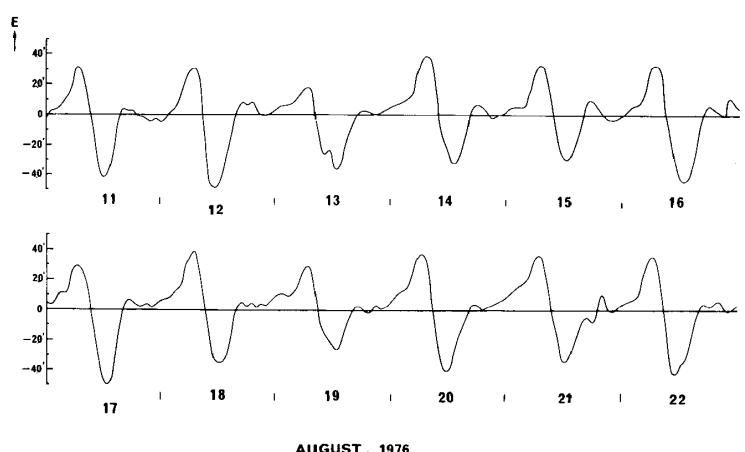


図 5.4.6 柿岡における偏角変化

図 5.4.3 は綿竹富新中学における地電位差観測結果である。

d) 岷江齿轮厂

この歯車工場には、非常に立派な群測点があり、地電位差2成分（銅電極、間隔40m）および地磁気偏角観測が行なわれている。

図 5.4.4 は、松潘・平武地震に先行する地電位差異常の例である。また図 5.4.5 は地電に先行する偏角変化の異常で、8月13日および17日に異常がみられる。対応する期間の柿岡における偏角変化は、図 5.4.6 のようになっていて、対応する異常は見られない。従って図 5.4.5 の異常は四川省特有の変化とみてよいであろう。

e) 平武(县) 地震台

平武(县) 地震台においては地電位差観

測が行なわれている。松潘・平武地震前後には、南坝汶川、水晶、古城、などにおいても、各種電磁気的観測が実験された。図5.4.7は水晶および古城における地電位差観測の結果で、8月20日に古城における地電位差が急激に下降し、21日に急上昇したことなどは、22日（M 6.7）および23日（M 7.2）の先行現象として理解されているようであった。

中国では、電磁気的先行現象については必ずしも一定のタイプを想定していないようである。ここに引用した図をみても、緩慢な変化、パルス状変化、不規則な変化などをいずれも先行現象として取扱っているようである。また、ノイズ・レベルの問題はほとんど考慮外のようにみられる。このような取扱い方については若干の疑問を抱かざるを得ない。

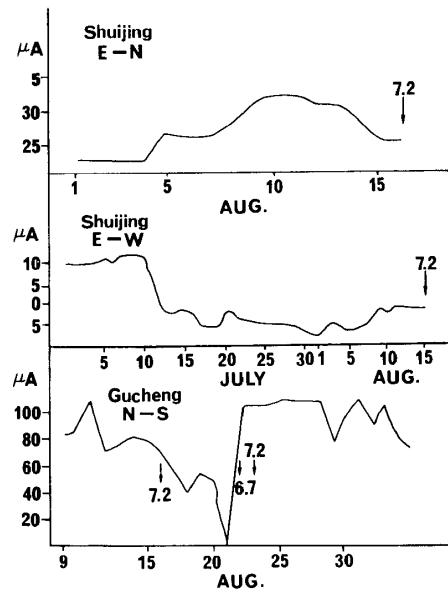


図 5.4.7 水晶および古城における地電位差変化

参考文献

乘富一雄（1978）：中国における電磁気測定と地震に伴う電磁気現象。1977年地震学会訪中代表団報告集 地震学会, 57-87.

5.5 地 質

松田時彦

1976年8月の松潘・平武地震は、四川盆地西縁を限る龙门門山（竜門山）断裂帯の西北部で生じた。地震断層は地表に出現しなかったが、震央付近には虎牙断層とよばれる地質断層があり、それがこの地震の発生に関連した断層であると考えられている。以下、主に成都-平武間での見聞（陸聯康氏および強祖基氏の話など）を中心に龙门山断裂帯、虎牙断層およびそれらと地震との関係について記す。

a) 龙门山断裂帯と四川盆地

龙门山断裂帯は、四川盆地の西縁を限る龙门山の山中を盆地縁にほぼ平行して北北東-南南西に走る。長さ300km以上。この断裂帯はほぼ平行する数条の断層線（茂汶断層、平武断層など）からなる。いずれも西北へ50°以上の角度で傾斜する逆断層であり、全体として四川盆地側へ衝上する覆瓦構造をつくっている。この断裂帯の最も四川盆地寄りにある断層の上盤側には、褶曲した石炭紀～二疊紀の地層が広く分布し、下盤側（四川盆地側）にはジュラ紀～白亜紀の堆積岩が分布する。一部ではこの断層は四川盆地側の第四紀層(Q_2)の上に直接引き上げている（灌县北方など）が、岷江-涪江間では盆地と龙门山山脈との間

には上記のゆるく褶曲したジュラ紀-白亜紀層からなる前山があり、その盆地に面した部分では盆地側へ中程度の傾斜で傾き、第四紀扇状地面の下に沈むケスタ地形を呈している。灌县（岷江の扇状地の扇頂付近）・关口（白水河の扇頂付近）および江油（涪江の扇状地の扇頂付近）付近では、この前山と扇状地との境界付近には断層地形と思われる急崖地形は認められなかった。涪江沿いにさかのぼると扇頂部の江油付近から上流でジュラ紀の砂岩・頁岩・礫岩からなる丘陵地帯となる。武都に入る手前（東側）の丘陵中に龙门山断層帶が走り、つよく褶曲し背斜構造をつくる T_1^2 の苦灰岩にかわる。道路わきでは龙门山断層の露頭はみられなかつたが、涪江南岸を遠望すると、龙门山の山地斜面に傾斜変換線があり、そこを龙门山断層が通っているとのことであった。この断層線の北西側に武都があり、さらに上流の甘汇までは涪江の峡谷沿いに二疊紀と石炭紀・デボン紀の石灰岩からなる岩壁がつづく。この下位には約 20° の傾斜不整合をもつてシルリア紀の千枚岩があり、それが平武付近までつづく。案内して下さった強祖基氏の説明によるとカレドニア造山運動で上記のシルリア紀層が変形・变成し山地化したのち、その前面（東側）の沈降地に武都-甘汇間でみたようなデボン紀-二疊紀の石灰岩類の堆積盆地が生じたとのことである。そして、三疊紀よりも後に生じた中生代後期の燕山運動によって、陸成のジュラ・白亜紀の盆地が生じ四川盆地と龙门山地との対立が生じた。龙门山断層とその付近の地質構造については強氏の論文がある（強祖基、1961、北京地质学院学報8月号）。

第四紀における龙门山断層の活動は、第四紀層の上に衝上しているところがあること、中国における主要な地震活動帶であることなどによって示されているが、活動層としての龙门山断層帶の詳しい地形、地質学的研究は今後に残されているように思われる。

四川省盆地は、長江の大きな支流が合流する広大な盆地である。西北縁で上述のように龙门山断層の衝上を受けている白亜紀やジュラ紀の地層はこの盆地の内部の丘陵などに広く露出し、主に陸成の赤色粘土岩・砂岩からなるので、四川盆地はそのため赤い盆地ともよばれる。

四川盆地の西北部は西方の山地から盆地に入る岷江や涪江の広い扇状地に被われている。盆地西北部の大都会、成都および绵阳はそれぞれの扇状地上に発達している。これらの第四紀堆積物の盆地内での厚さは明らかでないが、成都西方の郫县では、成都地震基準台のある白亜紀礫岩からなる小丘が岷江の扇状地面上に残丘状に顔を出している。また、涪江に沿う绵阳市周辺には丘陵や高位段丘の基盤をなして赤色砂岩・頁岩が広く露出している。これらのことなどから、四川盆地のすくなくとも西北部では第四紀層は必ずしも厚くないと推定される。

成都の東側には南北に長い龙泉山の山脈がある。その山脈は主にジュラ紀層からなり、その東西両側はそれぞれ逆断層で限られていて、いずれも白亜紀層上に衝上している。この龙泉山の東西両側にある逆断層（西麓のものを西坂断層、東麓のものを東坂断層という）は、

一部では第四紀層を切っており、また、この山脈沿いに地震活動もある。四川盆地の西北隅から盆地内に入った涪江は、この龙泉山を明瞭な先行谷として横断している。

龙泉山より東方、四川盆地の東部には北北東－南南西に走る数条の平行する山列がある。これは中国の地質家が、割档式とよんでいる形式の地殻変形の産物である。ほぼ等間隔で平行する地下に潜在する逆断層の変位によって、四川盆地の基盤岩がその断層上で上に凸に褶曲して生じたものである。主に先第四紀に形成されたが、第四紀にもそれは続いているらしい。地震活動も認められるが、歴史時代に $M 5$ 以上の地震はおこっていない。これらの山列の成因については張文佑の研究がある。

b) 虎牙断層と付近の地質

松潘・平武地震の震源と考えられている虎牙断層は地震前につくられていた 1 : 400 万の中华人民共和国地質図(中国地质科学院主编, 1976)にも記されている顕著な地質断層である。この断層の東側には、シルリア系およびそれ以前の地層が広く分布し、西側には二疊系・三疊系などの比較的若い地層が分布する。後者はさらに西方、青海・チベット高原まで広く分布する。地形的にもこの付近は青海・チベット高原の東北縁に近い。

松潘・平武地域の地質については、四川省地震局地震地質隊の陸联康・唐荣昌両氏によつて 20 万分の 1 地質図がつくられている。以下陸氏の報告に筆者らの観察を加えて記す(図 5.5.1)。

虎牙断層は走向 N NW で長さ約 60 km。北は龙滴水から小河・丰岩を経て虎牙关西方を通りさらに南の山中につづく、ほぼ中央部の丰岩堡(虎牙关付近)付近以北では走向ほぼ南北で断層面は東へ約 80° 傾斜しているが、以南では走向はやや SE へ偏り、傾斜は逆に西へ傾斜する。傾斜角は約 $70^\circ W$ であるが南方ほど緩くなり、南端近くでは $30^\circ W$ になる。つまり、ねじれた断層面をもつ。この断層の東側は元古代の震旦系と先震旦系であり、それらの走向は東西に近い。平武から虎牙关付近まで約 60 km の道路沿いによく露出する千枚岩～雲母片岩がそれである。泥質千枚岩には平行な剥離構造がよく発達するものがあり、大型のスレートとして住家の屋根瓦がわりにしばしば用いられている。壁開面はしばしば層理面に大きく斜交していて、壁開面上には葉理などによる成層構造が認められる。泥質千枚岩にも凝灰質絹雲母片岩にもしばしば黄鉄鉱起源の褐色の斑点がみられた。水晶一虎牙关付近に近づくと泥質千枚岩中に緑色岩(変粗粒玄武岩など)や砂質岩が発達するところがある。虎牙关の西方約 3 km 付近でこのような震旦系の東西性の構造は南北性の虎牙断層によって

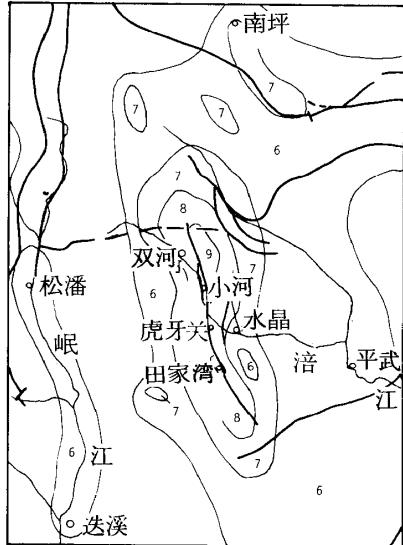


図 5.5.1 松潘・平武地震の震度分布(アラビア数字)と虎牙断層(中央の太線)

断ち切られ、その西側には石炭紀の灰色石灰岩がほぼ南北走向で急斜している。この断層に近づくとこれら上部古生界の走向が断層に平行になる傾向があるという。筆者らは断層面を観察することはできなかったが、陸氏等の観察によると、断層付近で西側の上記岩石は断層から数十mの間圧縮性の擾乱～破碎を受けているという。写真（図5.5.2）は断層の影響を受けている石炭紀層の破碎程度を示したものである。虎牙断層は写真のさらに右方にある。断層面付近には断層粘土とよべるような細粒の粘土状の破碎物質はみられなかったという。虎牙断層を西へこえるとすぐに虎牙川の渓谷はせばまり、上記の石灰岩の岩壁があらわれる。虎牙断層に最も近い部分でほぼ垂直の小断層を認めたが、その面上にはほぼ垂直の断層条線がついていた。

虎牙断層はその北端で東西性の雪山断層に切られている。南端では平武南方を通る龙门山断層（平武县では平武断層とよぶ）に近づく。南端付近では虎牙断層は石炭系、二疊系・三疊系の分布域を走るが、それらの分布は左ずれに1km余食違っている。このことから虎牙断層は左ずれ変位をもつと考えられる。この断層の起源は古くデボン紀（加里东紀）にさかのぼると考えられるが、それ以降も、古生代末～中生代初の海西・印支期・第三紀末～第四紀のヒマラヤ期の変動をも受けている。この断層との直接の関係は明らかでないが、後述のようにこの断層に沿う地震活動があり、現在でも生きている断層と考えられる。虎牙关付近ではこの断層線以西で、地形は急峻になり、虎牙山が断層線近くにそびえるが、これは花崗岩の進入を受けた石灰岩が浸蝕に対して強い抵抗力をもつためであるらしい。最近地質年代におけるこの断層の活動の有無を地形から判断したいと思ったが、十分果せなかった虎牙关西方での観察の限りではこの断層は尾根上に小さな鞍部と

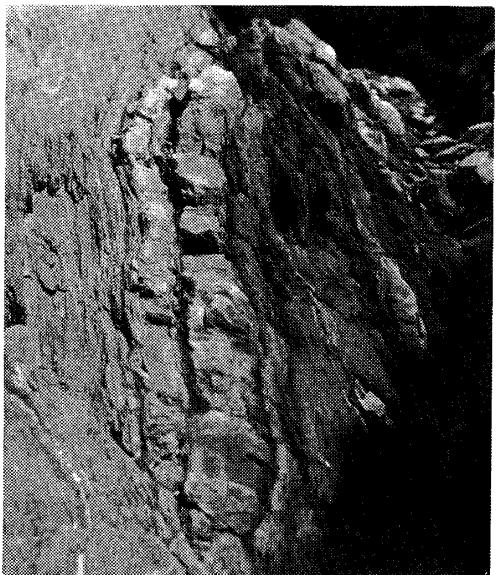


図5.5.2 虎牙断層付近の地表の擾乱・圧縮現象（虎牙关付近、北むきに撮影）

〈図5.5.2から図5.5.11までの写真は四川省地震局提供〉

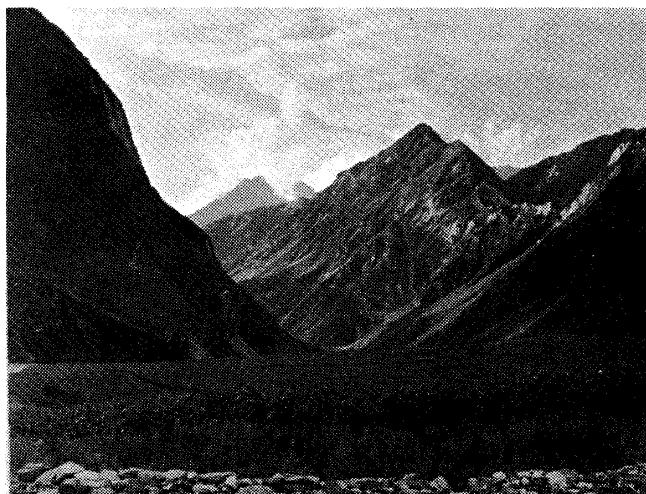


図5.5.3 虎牙断層上の断層谷地の景観

傾斜変換線をつくっていたが明瞭な形らしい形態は示していなかった。

虎牙断層が地形・地質学的に活断層であることはたしかめ得なかつたが、この断層（および西方の岷江断層）にそつていくつかの歴史地震が知られていることから、一般にこの断層は活断層と考えられている。1973年8月の松潘・平武地震のほか、たとえば1630年1月16日に虎牙付近に $M 6.2$ の地震があつた。また1973年以降に $M 5.2$ (73.5.8), $M 5.4$ (74.1.6), $M 5.2$ (74.11.17) などが生じている。これらは、いずれも虎牙断層の北西方であり、地下では断層が北西方へ延びている可能性があり、将来この方面に被害地震がおこる可能性を心配しているとのことである。

c) 松潘・平武地震と虎牙断層

1976年8月16日 ($M 7.2$), 8月22日 ($M 6.7$), 8月23日 ($M 7.2$) のいずれの地震も、その震央位置は虎牙断層の至近にある。陸聯康氏が示した図によると、第一の地震は虎牙断層の北部(双河付近), 第二の地震は中北部(小河付近), 第三の地震は中部(虎牙关付近)に生じた。これらの一連の地震が虎牙断層に沿って生じたことは、それらの地震の等震度線(図5.5.1)や余震分布がいずれもこの断層に沿って南北にのびていることにあらわれている。

地震後、地震地質隊は、虎牙断層とその周辺の地変調査・被害調査を行なつたが、虎牙断層沿いには断層変位によるとみられる地表異変は見出されなかつた。たとえば筆者らが訪れた虎牙付近では、地震当時には川沿いに小道があるのみであったが(現在の自動車道路は最近筆者らの見学の便のために急ぎ建設されたもの)，その小道沿いには地割れなどの異常は全くみられなかつたといふ。



図 5.5.4 山崩れと泥石流によって堰きとめられた涪江(小河白岩)



図 5.5.5 松潘・平武地震に伴う山くずれと泥流
(平武县黄羊人民公社草原生产大队の
北方約 1 km)

虎牙の南方約20kmでは虎牙断層付近に長さ数百m、幅10cmの地割れが生じたが、それは山稜に沿っていて、地辺りに伴う表層のものと判断された。一般に山崩れ、地辺り、土石流の発生などの分布は虎牙断層を中心に線状にならぶ傾向があった。

虎牙断層は既述のようにその地質学的性質は左ずれ成分をもち、断層の北半部では走向は北北西で傾斜は東へ約80°の高角断層である。8月16日・22日・23日の各大地震の発震機構によると、8月16日の地震の震源断層は走向北北西の高角逆断層。8月23日地震もほぼ同様とみられる。8月22日地震は、これらとやや異なり、横ずれ断層であり、北北西走向の節面を断層面とすると、左ずれ断層である。このように概して松潘・平武地震の発震機構と虎牙断層の地質学的性質とは一致している。つまり、いずれも左ずれ性の逆断層または逆断層性の左ずれ断層と考えることができる。P軸または最大圧縮軸方位は概してほぼ東西である。

松潘・平武地震の被害の特徴は、そのマグニチュードが大きいのに震度が比較的低いこと、しかし有感範囲は広いこと（北は北京、内モンゴル、東は湖南省、南は云南省、西北は甘肃省まで有感）である。震央附近では、図5.5.1にみると、虎牙断層沿いに細長く震度8の地域が

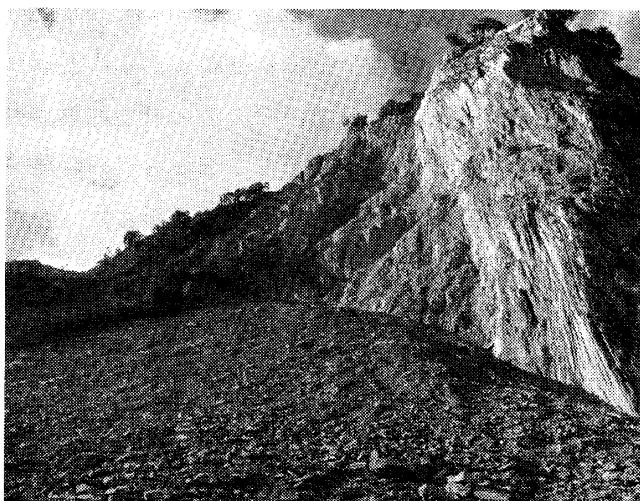


図5.5.6 平武地震に伴う山くずれ(双河地平沟)。堆積物の高さは20m。崩壊壁はほぼ垂直。

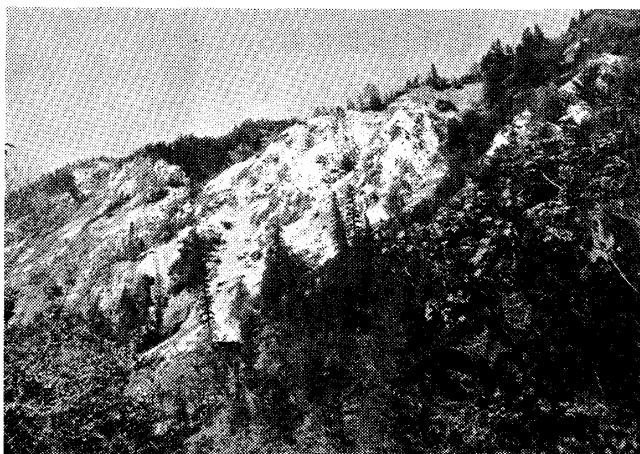


図5.5.7 大規模の表層の滑落(平武竹根卡=支沟の北側)



図5.5.8 地震による家屋の被害(平武县土城田家湾季家の住宅)



図 5.5.9 地震でくずれた小河の病院

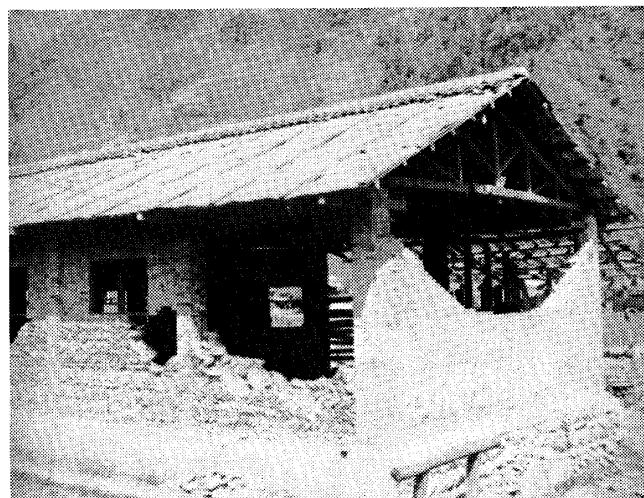


図 5.5.10 地震で壊れた平武県水晶の売店の食堂の壁

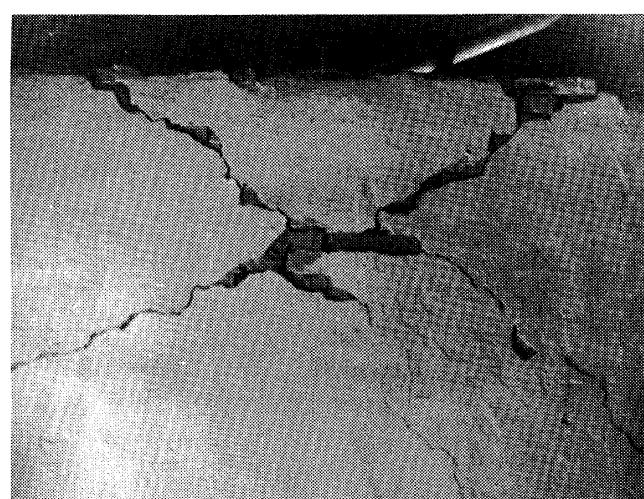


図 5.5.11 横壁に生じたX型の亀裂（平武県水柏人民公社信用社）

あり、部分的には震度 9 に達したところがある（震度階は中国の謝毓壽の震度表による 12 震度階）。震度 7 の地域も概して虎牙断層を囲むように分布するが、震度 6 の地域の中にパッチ状に分布する。各震度域の長軸は N 4° W であり虎牙断層の走向に一致している。断層の北半部では、震度は断層の東側で高く範囲も広い傾向があるが、虎牙以南の断層の南半部ではその逆で、西側に震度の高い所がある。これは地質学的にも断層の北半ではその東側が隆起、南半では西側が隆起という地質学的性質に符合している。なお、虎牙断層からはなれて、その西方、岷江沿いにも震度 6 の地域がある。なお、上記の震度分布は、8 月の 3 回の大震の複合した結果に基づいて描かれている。三つの地震の各自による震度分布図を別々につくることは実際上困難であった。以下、各震度帯の被害について簡単に記す。

震度 9 の地域：断層沿いの小河付近（長さ 2.25 km、幅 6.3 km の範囲）と田家湾付近（長さ 6 km、幅 2 km）に生じた。住家の多くは木造平屋であるが、そのごく少数のものが倒壊し、その他のほとんどが傾きゆがんだ。しかし、それは修理可能な程度である。レンガ造の建物（太さ 12 cm × 12 cm のレンガを重ね、柱で支えて壁とし、レンガとレンガの間はセメントでくっつけ

たもの)はほとんどすべて崩壊した。山くずれ(図5.5.5, 図5.5.6, 図5.5.7)地辺り, 土石流の発生多く小河付近の陳家大隊ではそのために涪江がせきとめられ, 長さ2km, 幅100m, 深さ30mの湖ができて人家は水没した(図5.5.4)。しかし, 避難していたので, 人や家畜には被害はなかった。

震度8の地域: 虎牙断層の北端の观音庵から南方の田家湾南まで断層沿いの地域に生じた。長さ67.5km, 幅12.5kmの地域。木造建物は傾いただけで, 倒壊したものはなかった。レンガ造建物はほとんどすべて亀裂が生じたりして破壊されたが, 少数は倒れた。地割れも見られたが, 地辺りに伴うものと考えられる。

震度7の地域: 主に虎牙断層の周囲の長さ90km, 幅25kmの地域。木造家屋には被害はほとんどない(古いものが多少被害)。レンガ造家屋には亀裂が生じた。地辺りなどの地表面の被害は広くみられた。

震度6の地域: 長さ167km, 幅60km。木造家屋の瓦はほとんどすべて落ちた。レンガ造建物の壁に亀裂が生じた。土屏は倒れたものもある。筆者らが訪れた水晶の東方の水柏人民公社の被害は震度6の例であるが, 壁にX型の亀裂が生じ, 瓦は約1/3が落下した(図5.5.10, 図5.5.11)。

5.6 宏観現象*

松田時彦

松潘・平武地震に伴う最初の宏観異常現象は, 震央地域(松潘・平武地域)に地震発生の約1年前からあらわれた。それ以後, 震央地区をふくむ龙门山断層帯に沿う地域から, 多数の宏観異常現象が報告された。とくに, 1976年6月から地震発生の同年8月16日までの約2カ月の間に大衆からの報告数は1200例に達した。図5.6.1はその報告を宏観異常の種類別に示したものである。動物の異常現象が最も多く, 591例(46.5%), 以下, 地下水(395例, 31.1%), 火球(149例, 11.7%), 地光(69例, 5.4%), 地氣(地中からのガス, 57例, 4.5%), 地表変形(地表の異変, 9例, 0.7%)の順であった。

このような異常現象の発生は, 異常を示さないものにくらべればその数は少ないが, しかし, 平時にくらべると多い。また宏観現象の特徴として, 異常があらわれた範囲は広いがそれらは帯状に分布しているということ

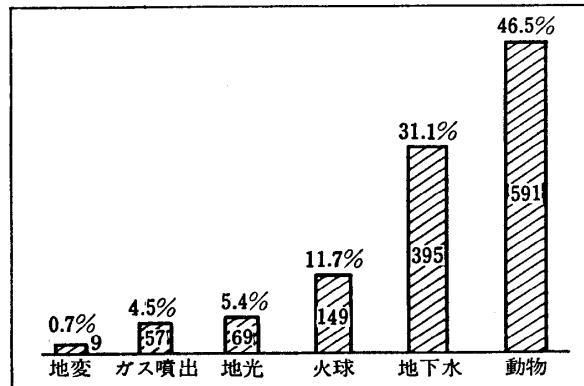


図5.6.1 龙門山断層帯にあらわれた地震前の宏観異常現象の種類と頻度

*本項は、主に四川省地震局朱皆佐氏の講演、平武地震台での説明などに基づいてまとめたものである。

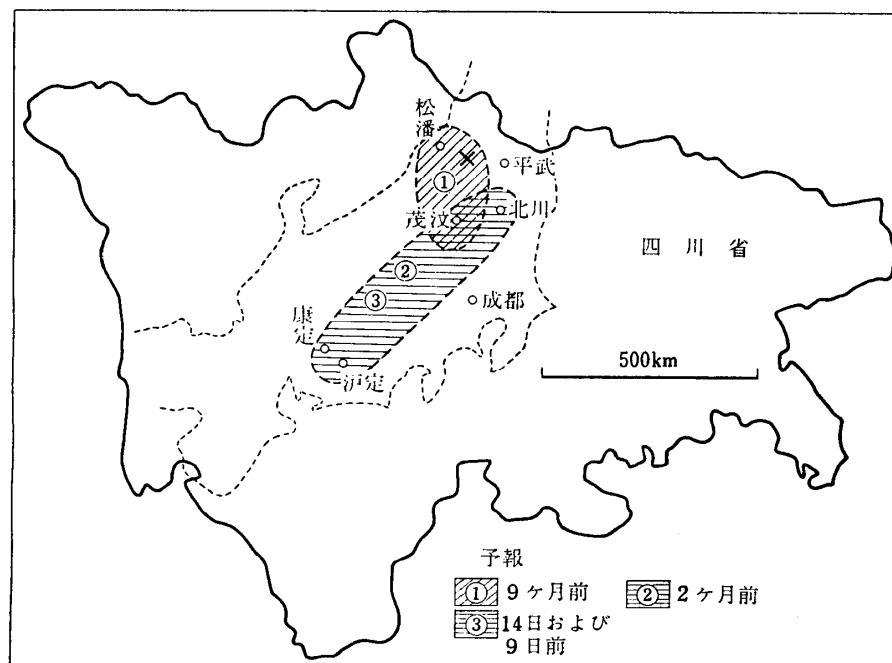
中国の地震予知の現状

がある。すなわち東は合川县から康定县、甘谷盐まで南北約700km、東西は約400kmの広範囲にわたる。しかし、その範囲のうちで、異常は断層沿いに帶状に分布した。また、異常現象の形式は多種多様であった。動物・植物・火球・地光・ガス・地震・気象・地下水（その水位、泡、濁り、味）・地表変化・電磁場など11種類。動物は小動物から大動物まで40種類が異常を示した。これらの異常の最初の出現の時期には種類によって早いおそいがある。

表 5.6.1 四川省松潘・平武地震(1976.8.16)の予報の発表時期と内容

予報発表の時期・機関		地 震 予 報 の 内 容		
時 期	機 間	場 所	時 期	規 模
① 1975.11	四川省地震局	松潘・茂汶一帯 ¹⁾	1976年上半期	M6またはそれ以上
② 1976.6.14	四川省地震局	龙门山断裂带の中南部、 茂汶・北川から康定までの地域 ²⁾	1~2ヶ月以内	M6程度
1976.6末	四川省党委員会	"	"	M7以上
③ 1976.8.2 および8.7	四川省地震局	龙门山断裂带の中南部、 茂汶・北川 ³⁾ あるいは 康定・沪定の一帯 ⁴⁾	8月とくに8月13. 17.22日の前後	M6以上、場合によつては M7程度
④ 1976.8.12	四川省党委員会	绵阳・阿坝・温江など 関係地域 ⁵⁾	(直ちに临震戒備状態に入れ)	

予報地域の広さ 1) 長径150km, 2) 約300km, 3) 約100km, 4) 約100km,
5) 約300km以上



**図 5.6.2 1978年8月16日(M7.2)の松潘・平武地震(四川省、Xが震央)の予報で述べられた地震発生予想地域
点線は同縮尺の本州中部**

宏観現象の時空分布をみると、将来、その地震の震央になる地域で最も早く出現し長期間持続した。一方、その外側の地域ではおそくなつてから出現するという傾向がある。震央地域（松潘・平武地域）では地震の一年余りまえの1975年から、まず地下水の異常があらわれた。その後、1976年春になって、この南方の龙门山断裂帯にそって地下水などの異常があらわれた。

そのため、1976年6月の時点では龙门山断裂帯中南部に地震発生の可能性があるという予想意見（表5.6.1および図5.6.2参照）を出したが、実際にはそこにはおこらず、結局最初に異常が出現した松潘・平武地区でおこった。

1976年6月以後、宏観現象は龙门山断裂帯にそって、南から順次北へ3回、時期をずらしてあらわれた。図5.6.3に示すように、1976年6月から同年8月までに異常現象の報告数には3回のピークが認められる。第一次大量出現期（192例）はほぼ6月の初めから終り頃までの時期であり、その主な出現地区は図5.6.4に示すように龙门山断裂帯の南部（ほぼ成都の西よりも南の部分、ほぼ大邑-芦山-天全地区）であった。この時期に異常を示した動物は小さな動物に限られていた。第二次大量出現期（133例）は7月18日頃から同月28日頃までの時期であり、出現地区は、第一次の出現場所の北東隣（成都の北西方灌县-彭县-绵竹をふくむ龙门山断裂帯沿い）である。この第二次出現期は火球がしきりに出現したことで特徴づけられる。第三次大量出現期（866例）にはさらにその北東隣（安县-江油-北川をふくむ龙门山断

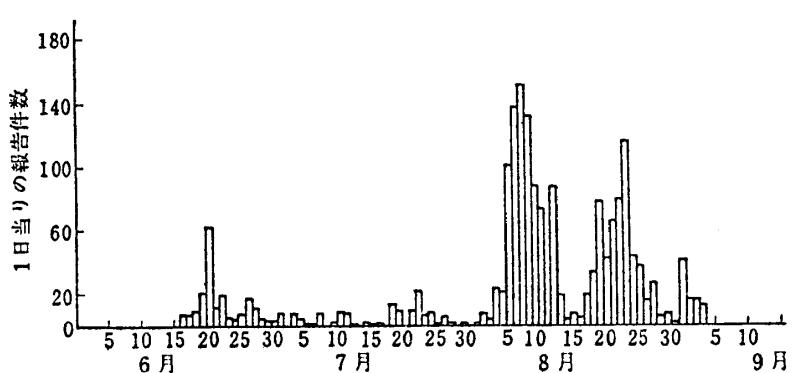


図5.6.3 龙門山断裂帶で生じた異常現象の報告数（1976年6～9月）

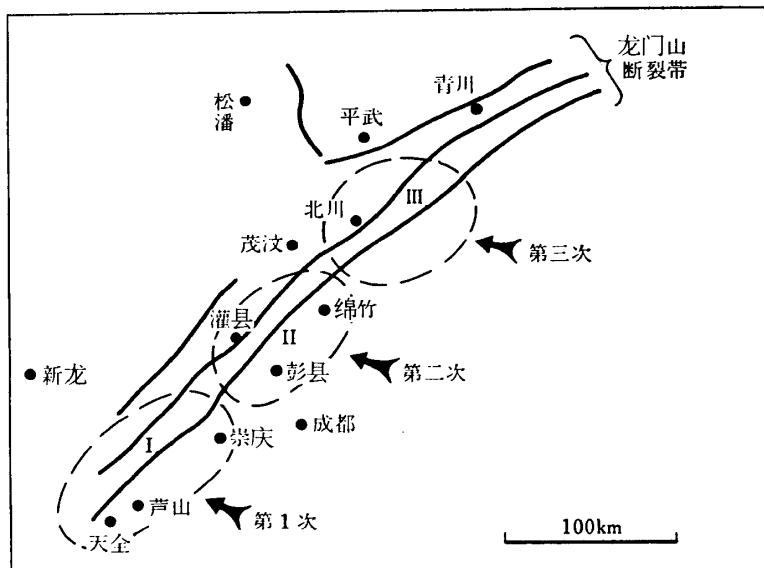


図5.6.4 四川省龙门山断裂帶に沿う宏観異常現象の出現地域の移動

Iは1976年6月、IIは同年7月、IIIは同年8月、太実線は主要断層線。8月16日、松潘・平武間の断層付近にマグニチュード7.2の地震発生

裂帯中北部)に移った。この時期の異常は第一次出現期とは異なってウシ・ウマなどの大動物が異常を示したことである(このような宏観現象の推移と、その他の諸観測資料にもとづいて8月2日と7日に四川省地震局は8月13日・17・22日の前後に龙门山断裂帶の中南部にM7までの地震の発生を予測して発表した)。この時点(8月初旬)では松潘・平武地域でとくに宏観異常現象が多いということではなく、むしろその外側の龙门山断裂帶沿いの各地区に比して異常は少なかった(このためか、上記の8月2日と7日の予想意見の文章は上記の第1~3次の異常出現地域を主な対象としていてその北西方にある松潘・平武地域をふくめていないように思われる)。

松潘・平武地域では、8月14日をすぎると急に宏観現象がふえた。

すなわち、この地域では1975年秋から、1976年8月14日まで異常件数は28回つまり月平均3回にすぎなかったのに、8月14日だけで13回、15日は26回、16日(地震直前まで)は60回に達した。

このように震央地区では1年ほどまえから最初に宏観現象があらわれ、地震発生の3日まえから急増した。震央地域で急増するまでの約2カ月間は同地方南方約50km付近を通る龙门山断裂帶の主要断層線沿いにむしろ多くの宏観現象があらわれていた。なお、この期間には成都の東方の龙泉断層沿いやはるか西方の鮮水河断裂帶沿いにも多少の宏観現象があった。

図5.6.5は、震央付近東半を占める平武县での宏観現象の分布を時期ごとに示したものである。地震3カ月前までは平武县の北西部(震央至近)に異常があつまっている(同図の左上)が、その後、地震の3日前(8月13日、同図中段左図)までは異常はむしろ平武县の東南部に偏り、震央地域はかえって静穏になった。8月14日(同図中段中央)から異常の分布は北西へ移りはじめ、再び平武县北西部にあつまつていった。数も急に多くなり、その

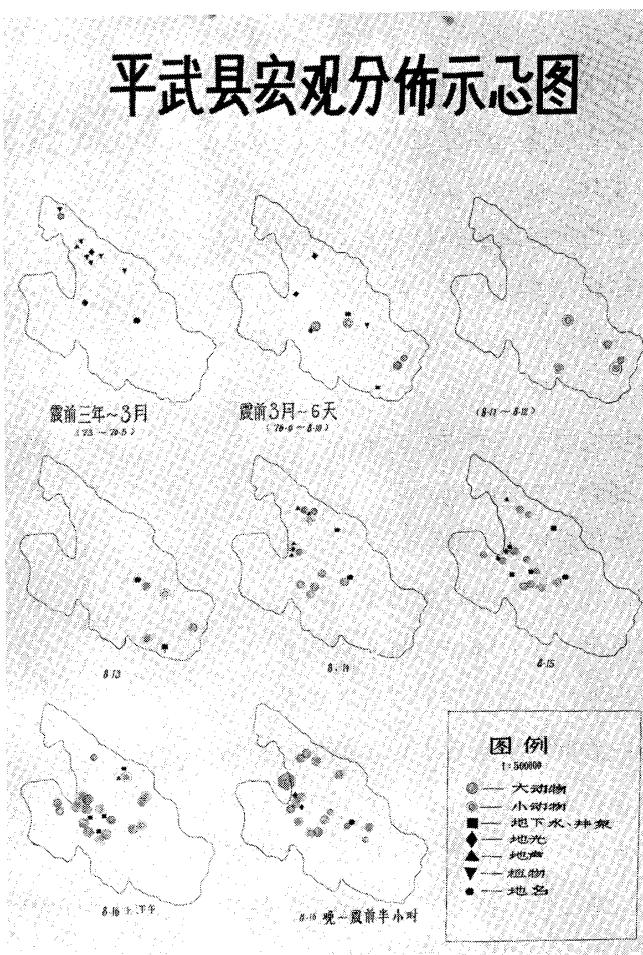


図5.6.5 平武县の宏観現象の発生状況
(1973~1976.8.16)

極に達した時、平武县北西辺を震央（同図中央の図のやや大きな六角印）とする松潘・平武地震がおこった。つまり、地震の3日まえから、次第に南方から震央にむかって異常現象が移動していった。地震発生後、宏観現象はすぐ減少し、分布も外側へむかって散っていった。次に主な宏観現象について順に記す。

動物：各種の動物は、1) 群をして移動する、2) いらいらする、あばれる、などの異常を示した。宏観現象の中では最も観察例が多く、報告された全異常例のうち46.5%を占めた（図5.6.1）。動物の種類はウシ・ウマ・ヒツジ・ニワトリ・アヒル・ガチョウ・ヘビなど40種類に及んだ。概して、小型の動物はやくから異常を示し、ヒツジ・ウマ・ウシなどの大型の動物は比較的直前になってから異常を示した。

図5.6.6は平武县での地震前約1カ月から地震後約1カ月間における、動物が示した宏観現象の統計表である。左側のグラフにみると、ヒツジ・ウシ・ブタ・イヌなどの大動物の異常は8月10日頃つまり地震約1週間まえになってはじめてあらわれ、その頻度は地震直前に最高になっている。

その他の動物の異常例をあげると以下のような。

藏区（チベット）で1975年-76年の冬に多数の蜜蜂が大挙してどこかへ移動してしまった。数千箱の蜜蜂のうち、残ったのは僅かに数百箱であった。巣に蜜があったので大量移動の原因が餓えのためとは思われない。その冬は気候が異常（その冬の最低気温は-6.6°C、平年は0°C）であったことによるのかもしれない（平武地震台での話）。

また、ある種の鳥（白鶲鴟、図5.6.16）は震央地域から群をなして移動し、アホーになつて人が手でつかまえられる程であった。江油県の犬は無我夢中でほえつづけた。また、ネズミは八月中旬に一つの大きな余震がくるまえに、電線のつなわたりをした。なお、1973年の炉霍地震（M7.9）の時には、人間も気がおかしくなった、という例がある。

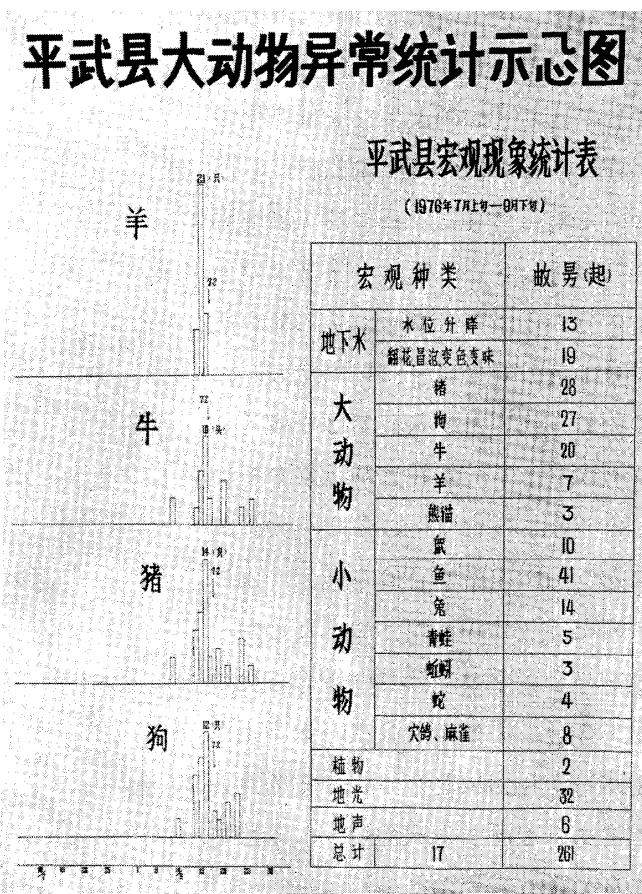


図5.6.6 平武县における大動物の異常についての統計。
(1976年7月上旬～9月下旬)

植物：植物の異常としては箭竹の枯死と重花が主なものである。1975年、平武県の震央に近い王朝と王坪楚の間（長さ100km、幅20～30km）の箇がいっせいに花をつけて枯れた。このため同年にパンダの餓死体がみつかった（図5.6.10）。このような箇の枯死・パンダの餓死は1933年8月の迭渓の地震（M7.5）でも生じたことが知られている。なお、朱皆佐氏談によると、この時枯れたのは箇だけであって、他の植物は枯れなかった。その範囲はのちにおこった松潘・平武地震の震度7の地域に多かったという。また、発見されたパンダの餓死体は一つであるが、他にも多く餓死したと推察される。箇が枯れた原因是地下水の水位変動によると思われる、とのことである。

ナシ・ウメ・モモ・アンズなどは2回花をつけた。写真（図5.6.11）はユズの例であるが結実したユズの実と一緒に花がついている。ユズはふつう3月に花をつけるが、8月の上旬にも花をつけた。芦山县（ $\Delta = 300\text{ km}$ ）では7月上旬に林の中のクルミが重花現象を示した。8月上旬には安県（ $\Delta = 100\text{ km}$ ）のユズが重花をつけた。

地下水：地下水の異常は、主に井戸の水位の変化と水質（色、にごり、泡、成分など）の変化である。前者は宏観現象の中では最もはやく出現している。地震の前年1975年後半から震央付近の平武・松潘・南坪で地下水位の異常が気づかれた。その年、平武県の山中で箭竹がいっせいに枯れたのも地下水の変化によると推定されている。以下、時間順にいくつか例をあげる。

1976年3月、成都西方の大邑の8本の井戸の水位が低下しほんどの涸れてしまった。彭县では井戸水から二酸化炭素がでてきた。そのガスの25.1%がCO₂、72%がN₂、1%がO₂であった。崇庆では地割れが生じ天然ガスが噴出し山火事になった。

表5.6.2 地震前にあらわれた井戸水の一時的な化学成分の変化（新龙の井戸）（含量%）

	1976 3月10日 (水位異常時)	4月16日 (水位正常後)
銅	0.01	<0.00005
鉛	0.2	<0.0001
亜鉛	0.01	<0.003
アルミニウム	1.0	0.01
珪素	1.0	0.3
鉄	3	0.03
マンガン	0.3	<0.001
ニッケル	0.003	<0.0003
チタン	0.03	0.001
クロム	0.01	0.0002
ガリウム	0.001	<0.001
カルシウム	>1.0	1.0

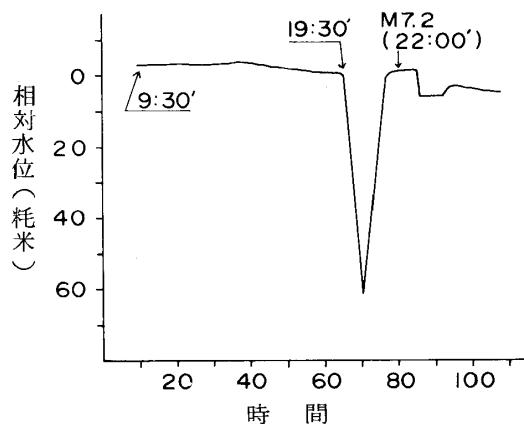


図5.6.7 震央東南50kmにおける8月16日大地震約2時間前の深井戸の水位変化 横軸の20, 40, …は2.0, 4.0…の誤。

1976年春、新龙 ($\Delta = 230 \text{ km}$) の井戸水の成分が変化した（表5.6.2 参照）。

1976年7月下旬、大邑県の公坊公社の井戸の水位が上昇し井戸のふちから溢出した。

1976年8月上旬に江油県のたまり水から気泡がでてきた。成分は N_2 94%, CO_2 0.06%, CH_4 0.95% であった。

同年7月下旬、什邡県の、井戸水の色がミルク色から紺色に変わった。また、お茶を入れると黒くなるので水質がかわったことがわかった例もあった。

1976年8月上旬綿竹県で一枚の田の中に、5~6の土のコブが生じその中央に小穴ができガスがでてきた。

1976年8月中旬、地震前、大豆 75 kg から豆腐をつくろうとしたが、かたまらず豆腐ができなかった。水質が変わったためらしい。

1976年8月16日夜、地震2時間前、震央の東南 $\Delta = 50 \text{ km}$ の、ふだんは水位が安定していた井戸の水位が図5.6.7に示すように突然 64 mm も一時低下した。

火球：灌县中興公社で、1976年7月中旬地中からとび出した火の玉が瓜藤および屋根の一部をこがした。写真（図5.6.12）はその瓜藤である。このほか同年7月中旬に火球をみたという報告が綿竹から多く寄せられたので、朱皆佐氏（四川省地震局）は7月19日夜現地を訪れて実際にそれをみることができた。以下同氏の談である。

火球は地下からとび出したばかりの時には火球の直径は洗面器位であった。そして 10 数mの高さになると、大きさはピンポン玉位になっていた。色は赤・青・白の混在したもの（マッチをすったばかりの時の炎のような色）であった。とび出した時はやさは流星のようであった。そしてまっすぐ上へとび上り、高いところでアーチ型をかけて消える。ふらふら、ゆらゆらはしない。この火球を 100 m 位はなれたところからみたが、匂もなく熱も感じられなかった。音もしなかった。しかし、大衆の報告の中には発破のような音をきいたというのである。大衆の報告によると火球がと

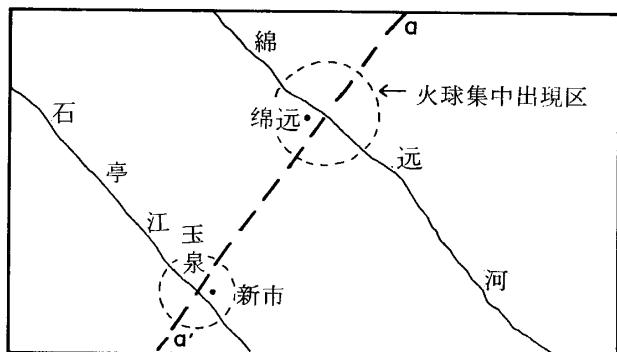


図 5.6.8 綿竹省での火球の出現地区 (a-a' は潜在断層)。いずれも川と潜在断層との交点付近に集中していた。

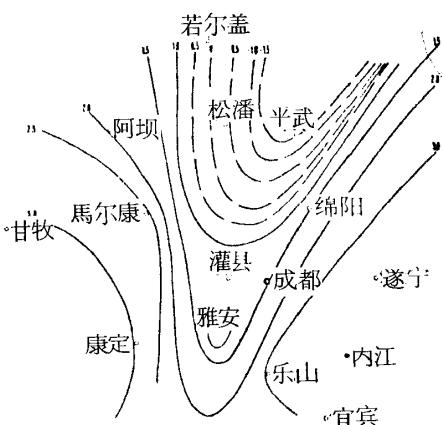


図 5.6.9 1976年7月26日～8月4日、平均気温異常分布図。松潘・平武地域で温度勾配が異常に大きい。

び出したところには、ピンポン玉より小さい穴ができていて、ニンニクに近い匂もあるという。それにややイオウの匂もあるという。その火球ができた穴を調べたが放射性のガスはなかった。自分の立っている傍から火球がとび出て息がとまるほどおどろいたという人もある。火球の出現は風の弱い日にも強い日にもある。火球がよく出現する場所は図5.6.8に示すように、绵远河・石亭江と邛崃・綿竹陷状(潜在)断裂帯との交点付近(それぞれ径5~6kmの範囲)に集中している。



図5.6.10 箭竹が枯れたために餓死した平武県のパンダ。(図5.6.10から図5.6.18までの写真は四川省地震局寄贈のアルバムから)



図5.6.11 1976年8月上旬に安県革命委員会の庭に出現したユズの重花(ユズが実をつけている時にさらに花が咲いた)



図5.6.12 1976年7月中旬灌県の中興公社で火球があらわれ瓜藤を焼いた

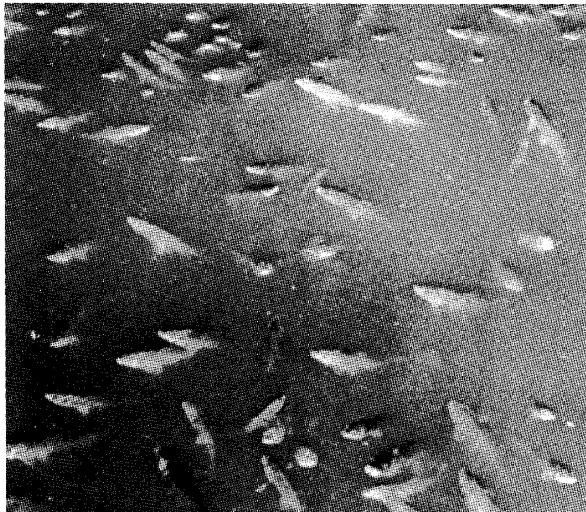


図5.6.13 1976年8月16日成都で養魚池の魚が臨震前に水面に浮き出て1日中泳ぎまわっていた

地光：震央地域(平武県水晶)の空に閃光や山鳴り(山响)があった。閃光はいつも水晶からみて西北の方向にあらわれた。淡い赤色あるいは淡い黄色をしていて、山の頂部から上にむいたアーチ状(扇状)の範囲の空に数秒~数分間つづいた。このような閃光は地震の半年位前から時々あらわれた(計32回)。最



図 5.6.14 1976年8月22日綿竹の富薪公社で一匹のウサギが2回屋根にのぼりおりてこなかった。



図 5.6.15 綿竹県のある輸送隊の牛乳場で飼っている乳牛が8月22日驚いて、もがいて鼻縄を切って外に逃げようとした

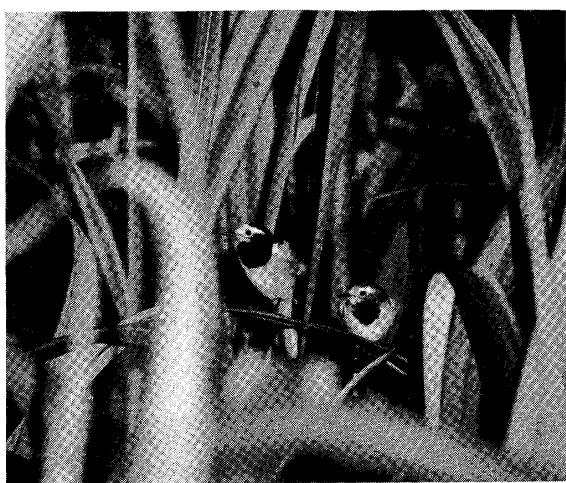


図 5.6.16 平武県の奥山の密林に棲息する多数の白鶴が地震前7日～8日に群をなして震央地域を去り綿竹・安县一帯にきて、放心状態であった。

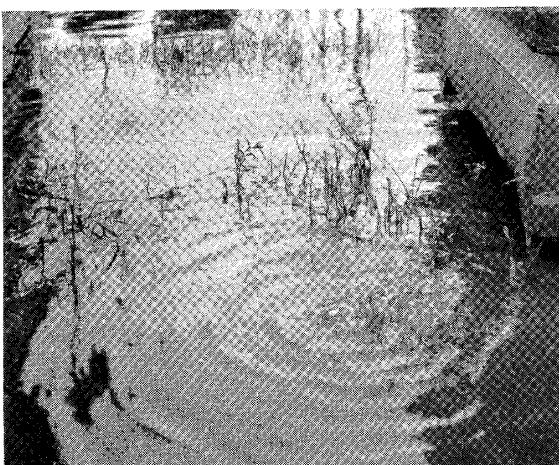


図 5.6.17 1976年8月上旬、江油のある溜池ではあわがたっていた



図 5.6.18 1976年8月16日地震の直前に江油の重新公社の泉水が枯れた

初の出現は1973年のことである。火球を伴うようなことはなかった（平武地震台での話）。

虹：地震の前日の1976年8月15日4時（午前）と21時5分頃、康定県で晴天に紫と赤の虹がでたという。虹の形は、ふつうの虹のような円弧ではなくて、水平・真直ぐであった。大勢の人々が数分間それを観察した。月はでていなかった。

気温：地震の1～3週間前、震央付近の

中国の地震予知の現状

気温は例年に比して異常であった。松潘・平武地域をふくむ龙门山断裂地域での1976年7月26日から8月4日までの平均気温と、同地域での過去数年間の同期間の平均気温とを比較してみたところ、松潘・平武地域に大きな気温のずれが生じていたことがわかった。図5.6.9がその気温異常分布図である。このような気温異常は経験的に短期予報の重要な材料になるという。

モヤ：江油县で、地震の前に異常に濃いモヤが発生し、自動車のライトも役に立たなかつた。匂もあったという（朱氏の話）。

音：8月15日（地震の前日）大衆から音をきいたという報告があった。音は雷のよう、発破のよう、あるいは自動車のエンジンのようであったとのことである。

参考文献

- 朱皆佐（1978）：松潘・平武地震宏观前兆简介。1978年9月13日、日中学術交流報告会（成都）において発表。
- 萩原幸男（1979）：宏観異常—松潘・平武地震予知の決め手、地球、1, 71-75.
- 松田時彦（1979）：中国の地震予知—松潘・平武地震の場合。科学の実験、30（3），185-192.

6 予知情報と防災

木 邦 光 宏

毎日新聞の横山記者と私は、思いがけず、今回の調査団に同行する機会を与えられ、充実した三週間を過ごすことができた。

辽宁省では、初めての大地震の予報を出した朱風鳴さんの、卒直な胸のうちを聞き、四川省では、火球の生々しい報告に驚き、時のたつのを忘れる毎日であった。

我々が、パンダの故郷の、涪江の大峡谷をさかのぼっている頃、東京では、新しく制定された「大規模地震対策特別措置法」の運用をめぐって、様々な論議が交されていた。

将来、大地震の予知情報が発表された時に、何が起きるのか、また何をすべきなのか。なにぶんにも我が国では、誰一人経験したことがない。

そこで、中国の場合はどうなのか、予知と社会とのかかわりの部分について、まとめてみた。

取材全般の詳しい記録は、既に横山記者の連載記事があり、また他の団員諸先生の報告と、重複する部分があるかもしれないが、お許しいただきたい。

a) いつから知せるか

「地震の予報は、中国では、いつから公表されるのですか」という私の質問に、辽宁省地震局の朱風鳴副局长は「大衆に知らせるのは、短期预报から」と明解に説明してくれた。

つまり長期・中期・短期・临震という予報の手順がうまくいった場合には、数カ月ないし20日程前に出される、短期预报の時点から、一般の人達に情報が伝えられるわけだ。

短期预报というのは、対象地域がある程度しばられ、予報の受持ちが、国家地震局から省の地震局へ、移される時点でもある。

これに対して、中・長期预报は、対象地域も莫然としているうえ、時間も長過ぎて、避難が中心の中国の地震防災では、大衆に伝える情報としては、あまり意味がないのであろう。

b) 徹底した広報

短期预报と同時に、中国流でいう防震抗震工作が始まり、ふだんは観測に参加していない人達にも、幅広く宏观現象の観測や報告が呼びかけられる。

広報活動は、予知の成果を左右する面を持っているだけに、徹底している。その内容は

(イ) 地震とはどういうものか。

(ロ) 地震を予知するには、どうしたらよいか。

(ハ) 地震の災害を、どうしたら防げるか。

の三つの点が中心で、要するに正しい知識と防災対策、それに適切な情報があれば、地震は恐れるに足りないということを、くり返し教え込む。

松潘・平武地震の際、平武県で実施された広報活動は、次のようなものであった。

- 76年6月初めから、有線放送で地震予知識を週2～3回放送。

(街頭にスピーカー、図 6.5 参照)

特に唐山地震が起った 7 月末以降は、毎日放送。

○映画の上映

○写真展

○地震知識というパンフレット 1 万 2 千冊配布、ポスター 8 0 0 0 枚はり出し。

○県内の牧畜業・養魚場 1 3 0 0 カ所に、動物の異常行動の報告を要請。

主な深井戸についても観測開始。

平武县は、人口 1 7 万人の山村であり、ふだんの情報量からみて、これだけやれば、ほぼ全員に衆知徹底したと考えても、間違いではないと思われる。

しかしながら、頑固な人というのは必ずいるものである。

海城地震の震央に近い牌楼人民公社の丁家沟生产大队では、8 7 8 人の村民のうち 8 7 6 人までがよく理解をしたけれども、9 1 才の楊さんと、8 2 才の胡さんの 2 人は長い人生体験から「地震なぞ考えられない」と頑張り、前震が頻発し始めてようやく説得に耳を貸し、避難に応じたという。

また营口县水源人民公社の副書記の冯芝田さんの話では、当初一部の大衆は「地震は大した災害をひき起こさないだろう」と、たかをくくっていたという。このうち西青生产大队のあるお年寄りは、民兵隊長が背負って連れ出しても家に戻ってしまい、3 回目におぶって出た 1 0 分後に地震が起きた。

さらに松潘・平武地震の際、平武县孔羊人民公社では、避難命令に従わず、部屋にかくれていた 1 人が倒れた家の下敷きになって死亡した。

この種の話は、どの地震にもつきものようだが、情報を否定的に受けとる人が少数いても、実害が広がる必配はないし、かえって反面教材として有効なのかもしれない。

これに対して、情報が不正確に、しかも拡大して伝わっていくと、混乱は避けられず、中国でも社会不安を招いた例があるようだ。

四川省地震局の、李兴海さんらの話によると、松潘・平武地震の前に成都市では、大衆に不安な気持が広がり、特に唐山地震のニュースが伝わった直後は、一時的なパニック現象も起きたという。

しかし、工作隊が入って「成都は、予想される震央域から外れており、多少の影響はあってもそれ程強い揺れにはならない」と教育宣伝に努めた結果、不安はおさまった。（実際の成都の震度は中国震度階のⅣで、気象庁震度階の震度Ⅲ程度だった。）

こうした事例について、詳しい話を聞く時間が無かったのは残念であった。

c) 防 災

省段階での防災対策の指示にあわせて、県や人民公社でも、それぞれ地域の実情に応じた対策が検討される。

松潘・平武地震の临震预报が出される前日の8月11日、平武县革命委员会は、人民公社や工場などの責任者を呼んで、次の様な13項目の防災対策を発表し、協力を求めた。

- (1) 地震予報と警報は、県の革命委員会が統一して発表する（デマ情報の防止）
- (2) 民兵は十分その役割を果すよう、防災と救急の準備にとりかかる。
- (3) 指定場所での地震小屋づくりを行なう。
- (4) 医務関係者を全県で8班に分け、緊急出動の準備を整え、病院は地震小屋をつくって入院患者に備える。
- (5) 県内のすべての車は、指定場所に待機して指令を待つ。
- (6) 各工場は、機械・資材を守る措置をとる。
- (7) 銀行と食糧関係部門は、民兵によって組織を守り、解放軍にも警備を依頼する。
- (8) 犯罪者達は、人道的精神にのっとり、組織的に避難させる。
- (9) 発電工場は、火災を防ぐため、警報が出たら操業を止める。
- (10) 生活必需品が不足にならないよう、商店には十分品物を用意させ、また供給保証のとり決めを行なう。
- (11) 各自餅をつくっておく。餅屋にも増産を指示する。
- (12) 電話回線の予備ルートを確保する。
- (13) 民兵と開放軍は、あらかじめ受けておいた命令に従って、地震発生後直ちに、指定の場所に出動する。

营口市革命委員会が、海城地震の前にたてた防災対策も、平武县の場合とよく似ているが、营口は平野部の工業地帯だけに、

- (1) 火薬の危険物の分散。
- (2) できるだけ工場の操業を続けるため、工場内の緊急避難場所「安全島」の確保。
- (3) 給水、水利施設、ダムの点検。

などの要素が加わっている。

民兵や解放軍の役割りは、社会的には興味が持たれるところだが、詳細は不明である。

d) 避 難

临震の避難命令は、主な部署には電話で伝えられ（現在電話があるのは、重要部門に限られている）、さらに有線放送のスピーカーやサイレン等で、大衆に伝えられる。

そして、地震小屋の暮らしが始まる。

地震小屋は、各自の生活圏から、あまり遠くないところに造られ、炊事などは自室に戻って準備することも多いようだ。

辽宁省の南部では、我々が訪れた当時、新たな中期预报が出ているということで、海域地震の後も小屋はかたづけられず、街の広場や道路ぎわのいたるところに見られた。

松潘・平武地震の際は、避難命令から地震まで4日あったが、通りがかりのインタビュー

に応じてくれた、平武の街の木材業、王建朗さんは「災害を防げるのだから、小屋の暮らし
が長くなっても構わない。情報もどんどん流れてきたので、不安はなかった。予報は積極的
に出すべきだと思う。」と話していた。

但し、四川は温暖の地であり、時間や生活の感覚が我々とは異なることを、念頭に入れて
おかなければならぬであろう。

e) 情報あれこれ

龍陵地震の警報は、日本の面積の4分の1に相当する、広い地域に出されたと、鈴木次郎
教授が指摘している。

松潘・平武地震も、四川省地震局の韓渭宾さんの話では绵阳（平武を含む）阿坝（松潘を
含む）温江（成都の北西）の3地区に、避難命令が出された。日本で言えば九州くらいの広
さになるが、家の構造が非常にもろいことや、崖崩れの起き易い山間部であることを考へる
と、『広すぎる』ということはないのかもしれない。（図6.2参照）

海城地震の場合は、最終的には震央区の予想を、海城・营口地区と狭い範囲にしぼってい
る。

78年5月18日に辽宁省南部で起きた、M6の地震の場合は、4月末に营口地区のみ
を対象とした短期预报が出された（但し临震预报は出せず、震源も予想よりやや北にズレて
いたという）。

78年7月13日に四川省黑水で起きたM5.4の地震は、7月6日に临震预报が出された
が、地域は黑水・茂汶地区と比較的限定されている。（この予報は、時期の予想が7月13
日の前後3日間というのもユニークである。）

発生時期の予想についてさらにいえば、海城地震では、発生の1ヵ月あまり前の74年
12月に、营口市の北方の盘山という町で、3万人が3日間避難したが、地震は起らなか
った。また前述の震央区にある丁家沟生产大队では、本震の前夜から、責任者の判断で自
主的に避難した。

この他、陕西省の西安地方に、海城地震のあと、予報が出されたが（どの段階の予報か不
明）76年9月に、地震が起きないまま解除されたという。

地震予知の技術はまだ発展途上であり、現在の時点では、情報の精度にもかなりバラつき
があるのはやむを得ないが、安全サイドに立った情報が、社会的に許容され、奨励されてい
るのであろう。

f) おわりに

中国と日本では、社会の体制も環境も、まったく異なるので、防災対策をそのまま引き写
しても意味がないことは言うまでもない。

しかし、いざという時の対策は、一人一人が簡単に実行できる、単純明快なものでなけれ
ば、実際には役立たないといわれている。その点で中国のやり方は、素朴ながらも防災の原

点とも言うべき、多くの示唆を含んでいると思う。

特に「大衆を良く知らされた状態に置き」一人一人に防災を考えさせる「群防」の基本方針は、とかく役所の防災と住民とが遊離しがちな、我が国の現状と比べて、強い印象を受けた。

最後に、地震予報を出すという困難な立場を初めて経験した朱風鳴さんとのインタビューの一節を御紹介したい。

「海城地震の起こる前は、夜打合せて昼は観測に戻るといった忙しい日が続いて、寝る間もないくらいだった。誰も体験したことがなかったので、なかなか決断をおろせず、心の面でも、落ち着かなかった。いつ大衆を避難させ、地震がなかったらいつ帰すのか。うまくいくだろうか。

しかし、最後の前震群の発生で、ようやく気持が固まった。それでも預報の内容を言うと、地震が起こるのは2~3日以内。規模はM6かそれ以上というもので、正直に言ってその日の晩に、M7クラスが起るとまでは読みきれなかった。

今の段階では、我々の知識は、とても不十分である。

しかし、努力を重ねていけば、将来いつかは、正確な予報を出せる日が、必ずやってくると信じている」

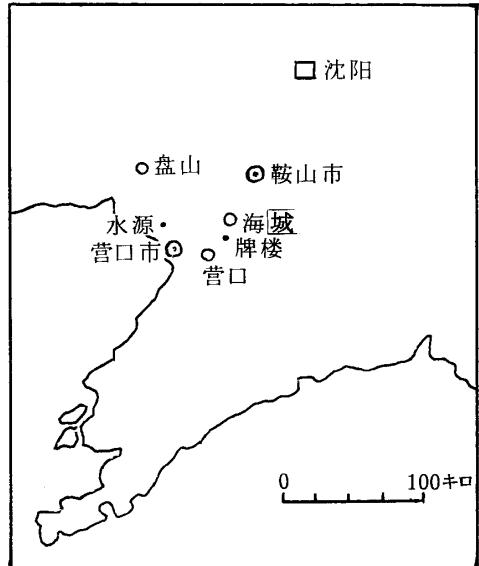


図 6.1 海城とその周辺

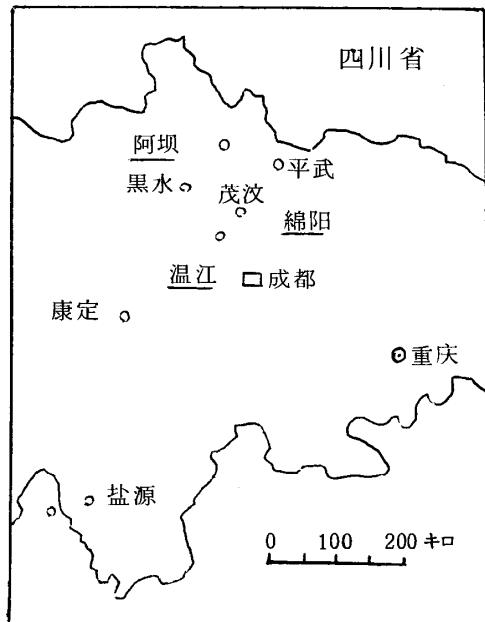


図 6.2 松潘、平武の位置

中国の地震予知の現状

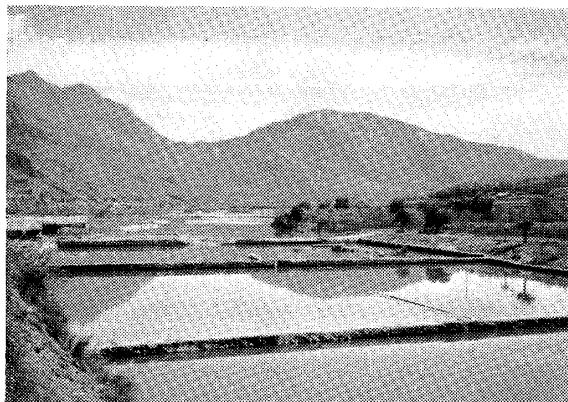


図 6.3 四川省平武県の養魚場（地震前に泡がでて魚が浮いた）

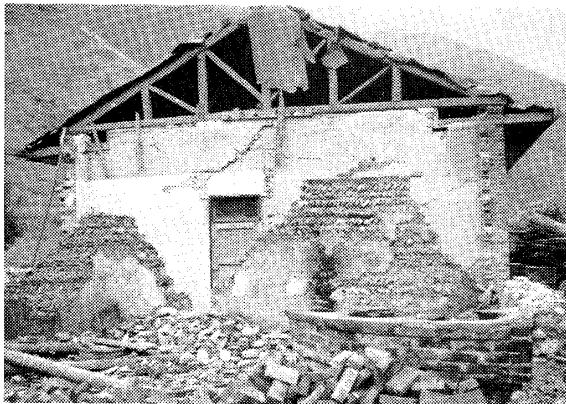


図 6.4 松潘・平武地震で壊れた家（平武県）



図 6.5 平武の街のスピーカー



図 6.6 緊急の連絡は電話で（四川省彭县の齿轮厂大众观测点）

参考文献

尾池和夫：中国の地震予知。N H K ブックス，333，日本放送出版協会。
地震学会：1977年地震学会放中代表団報告集。

付録 虞順民・李志义・程紹平・陳獻程・陳孝德・楊主恩
・李如成

唐山地震区域构造背景和发震模式的讨论^{*}

訳 柳田鐵雄 ** 柳田 誠 ***

* 地質科学, 1977年, 第4期, 305-320

** 日中科院別科研究科

*** 駒沢大学大学院博士課程地理学専攻

紹介: 松田時彦

1976年7月28日午前3時42分、中国河北省唐山地区にマグニチュード7.8の地震が発生した。地震の発生はその地域の構造背景と震区の構造条件にもとづいている。この問題を深く研究し、地震の形成・育成および発生を知ることはきわめて有意義である。唐山地震の震央は深断裂¹⁾とは直接関係なく、むしろ人目をひかないNE-SW方向の断裂¹⁾に起因する。それを規制している要因としては震区をとりまく周辺の断裂が重要な作用をしているものと考えられる。このNE-SW方向の断裂はこれをとりまく四辺の断裂によってある期間平衡状態を保ち、相対的閉鎖区を形成している。この地区の応力場が急変した時、閉鎖は破れ大地震が起るのである。

本論文は野外地質調査によって得られた資料に重点を置き、地震活動・震源断層の破裂特性とモデル実験結果対比をあわせ、地震区域の構造背景と発震機構を明らかにし、新しい地震危険区を設定し必要な基礎資料を予報的に提供するものである。

I. 山地震の区域構造背景

唐山地震は华北(華北)地塊の北部に発生した。その地塊の範囲は、西は賀蘭山～六盤山のN-S方向の構造帯まで、北は阴山～燕山のE-W方向の構造まで、南は秦嶺～大別山のE-W方向の構造帯までであり、東の境界は海域²⁾内にある(図1)。华北地塊の構造は非常に不均等である。地殻上部は垂直方向に大別して三つの構造層にわけられる。それは先震旦系³⁾の結晶質基底構造層・古生代～中生代の被覆層・新生代の軟弱層でそれぞれ不整合面によってへだてられている。华北地塊は大きく五つにわけられる^[1, 2]。それは、オルドス陥没地塊・山西隆起地塊・冀魯⁴⁾陥没地塊・胶辽隆起地塊および阴山燕山断層褶曲帶である(図1)。唐山地震はNNE-SSW方向を持つ冀魯陥没地塊とE-W方向を持つ阴山燕山断層褶曲帶との結合部に位置している。

冀魯陥没地塊は新生代以来激しく陥没し、内部構造は複雑で少くとも三つの方向の構造が存在しており、なかでもNE-SW方向の断裂が主でありそれが基本的輪郭をなしている。この断裂に支配されて二次的なNE-SW方向の隆起帯と断層陥没帯が形成されている。たとえば冀中陥没地塊・滄县隆起地塊・黄駝陥没地塊・程寧隆起地塊などである。陥没地塊の新生代の沈降量は最大で8,000mに達している(黄駝岐口地区)。一方、隆起帯の頂部では新生界が薄くなって200～300mとなる。このほかに断続的に帶状に出現したNE-SW方向の海河・孫河～南口断裂帶なども顕著な新しい活動を行っている。

NE-SW方向の地質構造の形成は早く、ところどころその構造は切断され、新しい活動はやや弱い。冀魯陥没地塊の中でNE-SW方向を持つ沧车断裂帶は、燕山運動以来長期にわたり活動を行ってきた断裂帶であり、南は滄县・天津・北京を経て宁河县(芦台)付近まで延びて阴山燕山断層褶曲帶の南限の断裂と宁河～昌黎断裂帶との交点にまで達する。沧东

断裂帶は一系列の正断層群によって構成され、喜山運動以来、激しく活動し断裂の東側は大きく沈降し、西側は隆起している。断裂帶に沿っては重力異常帯が存在する。

陰山燕山断層褶曲帶はEW方向の大断裂帶と火成岩帶によって構成され、地殻の厚さは西部で40-45km、東部で34-40kmである。基底は結晶質の変成をうけた始生代の永定河混成岩で、著しい褶曲を受け硬化している。被覆層は古生代・中生代の海成層・陸水成層で、特に震旦系の地層は良く発達し層厚は最大10,000m以上に達している。^[2] 地質構造は何回もの構造運動の影響で複雑である。早期にはN-S方向の圧力によって多くのE-W方向の断裂と褶曲が形成され、その後新生代の構造運動のためにNE-SW・NNE-SSW・NW-SE方向の断裂帶が形成された。新生代になってから断裂運動は激しくなり二次的な活動断層地塊が形成された。たとえば、蔚县隆起地塊・唐山陥没地塊・山海关隆起地塊などである。今日の陰山燕山山脈は新生代以来の長期にわたる隆起の結果形成されたものである。(図1)。

○ 山燕山断層褶曲帶の重力場の特徴

陰山燕山断層褶曲帶は平泉-秦皇岛以北に位置し、その重力異常は平泉-秦皇岛のN-S方向、NNE-SSWおよび、E-W方向を主とする。E-W方向のものは宝地・唐山・滦県を通過する正の重力異常帯である。図2に示すように唐山地区はE-W方向の正の重力異常帯とNE-SW方向の正の重力異常帯とが交わる地点に位置している。华北地区の大地震は正の重力異常地点の周辺に多く発生しており、唐山地震も唐山重力異常の南東側に発生した。重力異常はこの地域の地殻の局部隆起現象を反映しているものと考えられる。

华北地塊は中国の多震地区であり、歴史資料統計によればマグニチュード6以上の破壊性地震は八十数回発生している。华北地区の地震活動は“成帯性”“周期性”“移動性”的三つの特徴を持っている。成帯性とは平面的特徴であり五つの地震帯からなっていることである。それは银川地震帯・山西汾河-渭河地震帯・华北平原中部地震帯・辽-魯地震帯および阴山-燕山山麓地震帯である。周期性とは時間分布上の特徴であり、A.D. 1,000年以降の資料から四つの活動期が見い出される^[3]。第一活動期は1011-1076年、第二活動期は1290-1368年、第三活動期は1484-1730年、第四活動期は1815-現在にいたる。現在は第四活動期の最盛期にあたっている。第一活動期の主な地震は冀魯陥没地塊に分布し、第二活動期は山西隆起地塊・第三活動期は华北すべての地震帯に分布し、第四活動期は冀魯陥没地塊と阴山-燕山山麓地震帯に分布する。唐山地震は第四活動期のもとで起ったものである。华北地塊の地震帯は断層地塊周辺の大小さまざまな地質構造と空間分布上一致しており、両者は結合して活発な地震活動をおこす構造地震帯を構成している。华北地区のマグニチュード7以上の地震はすべてこの構造地震帯に位置し、マグニチュード6-6.9の地震も二次的断裂帶にわずかに分布するほか、大部分はこの構造地震帯に分布している。冀魯陥没地塊と阴山-燕山山麓(南縁)の構造地震帯は現在最も活発な地震帯であ

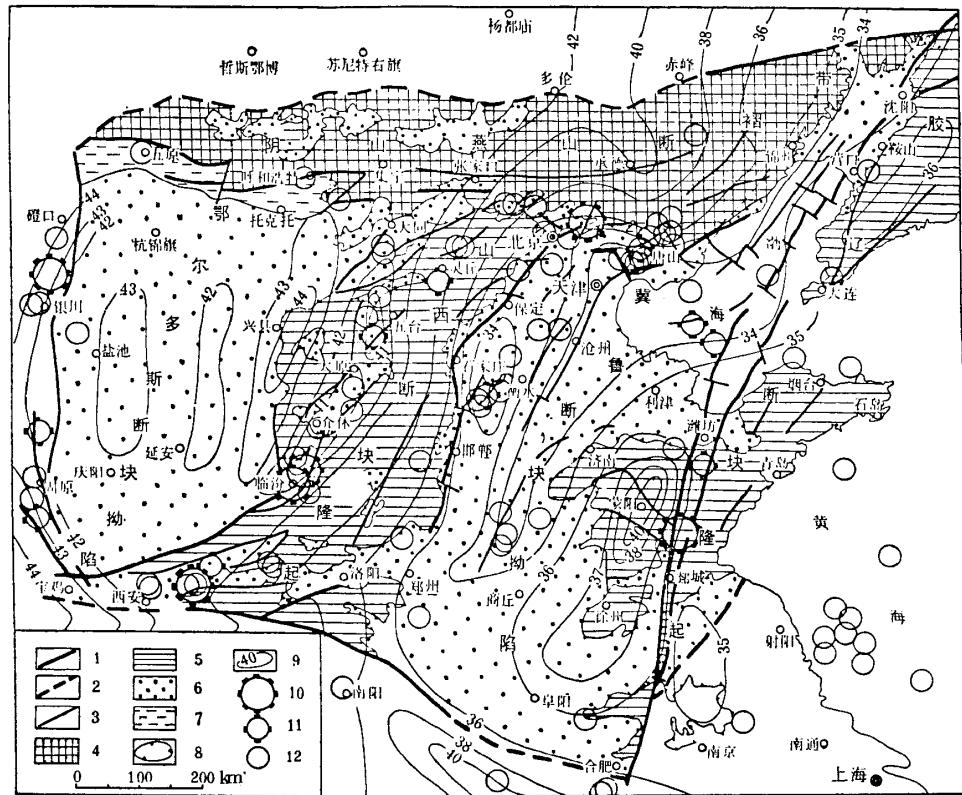


図1 华北地区的断層地塊構造と強震の震央の分布図

(この図は主に「中国地震地质概論」に基づいている)

- | | |
|------------------------|-------------------------|
| 1 断層地塊をわける深断
裂・大断裂： | 7 東西方向の山麓断層沈
降带： |
| 2 推定深断裂・大断裂： | 8 新生代の断層盆地 |
| 3 一般の大断裂： | 9 地殻厚度等高線(km)： |
| 4 東西方向の断層褶曲隆起带： | 10 $M \geq 8.0$ の地震 |
| 5 北東方向の断層隆起带： | 11 $M = 7 \sim 7.9$ の地震 |
| 6 北東方向の曲隆帶： | 12 $M = 6 \sim 6.9$ の地震 |

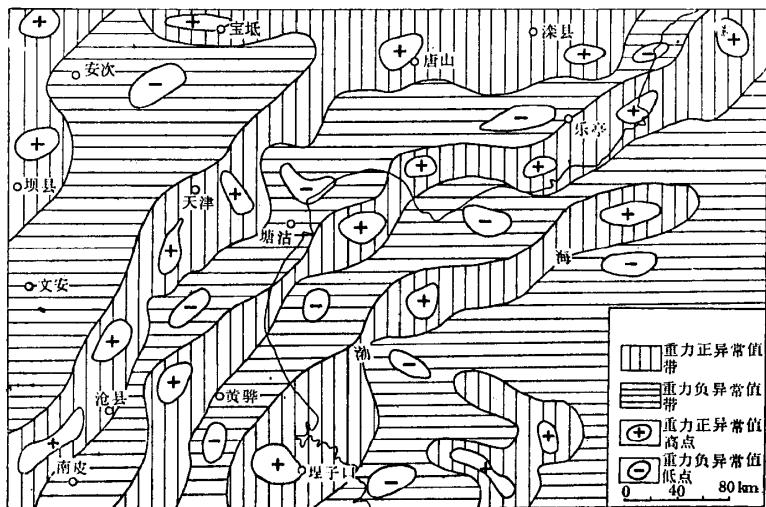


図2 唐山・渤海地区の重力分布図

る。前者は1966年の邢台地震($M 7.2$)と1967年の河間地震($M 6.3$)を発生させ、後者は1976年の和林格尔地震($M 6.3$)を発生させている。唐山地震はこの二つの地震帯の交点で発生した。

II. 山地震の発震機構

これから述べることは次のようにまとめられる。阴山燕山断層褶曲帯と冀魯陥没地塊の間には唐山地塊があり(図3)，その四辺は大断裂と深断裂によって囲まれ，地塊の中央には対角線をなす一本の断裂が存在する。唐山地震はこの断裂上に発生した。

1. 菱形の唐山陥没地塊の周辺を限る断裂とその新活動

唐山陥没地塊はENEに長い菱形の地塊で、四辺は新活動を伴う大断裂と深断裂によって囲まれている。北は丰台—野雞沱大断裂、南は宁河—昌黎深断裂で走向はともにENE—WSWである。東は滦县—乐亭大断裂、西は薊运河深断裂で走向はともにNW—SEである。宁河—昌黎深断裂などは古生代以前に形成されたものであり、これらは中生代以降に普遍的な活動をした。

宁河—昌黎深断裂

この深断裂は唐山地塊と乐亭地塊の境界をなしている。北東端は渤海、南西端は沧東断裂帯と接している。断裂は呂梁運動を起した。新しい活動は活発で、第四系の落差は500m以上である(図3, A-A'断面)。断裂の北西側には、平行した纵比降转折帶⁽²⁾⁵⁾があり、断裂の北西側の隆起と南東側の沈降と密接な関係にある(図4)。昌黎县城付近では燕山期の花崗岩をきって標高40mと80mの2段の海蝕台地が発達しており、その海蝕崖とノッチなどは明瞭である。一方、南東側では第四系軟弱層が厚く堆積し、基盤岩は埋没している。完新世中期の海成沖積層はこの断裂を境に15m以上の高度差を持っている。元朝以来700年間に滦河は何回か流路を変更している。滦河の決壊地点は沙舗、史家口、汀流河などで断裂の新活動を反映している。

丰台—野雞沱大断裂

この大断裂はほぼENEで薊县地塊と唐山地塊の境界をなす。古生層は大断裂の北側にしか分布しておらず、南側には厚い震旦系の地層が分布している。断層面は榛子鎮付近より西ではNWに傾き、東ではSEに傾いている(図3)。新しい活動は活発である。西では断裂を境として第四系の厚さが300~400m変化し、東では山地と平野の境をなしている。丰潤西南付近では断裂に沿って第四系が著しく厚い(図4)。

滦县—乐亭大断裂

この大断裂はほぼNNW—SSEで、東側の山海关隆起地塊は長期にわたって隆起を続け、

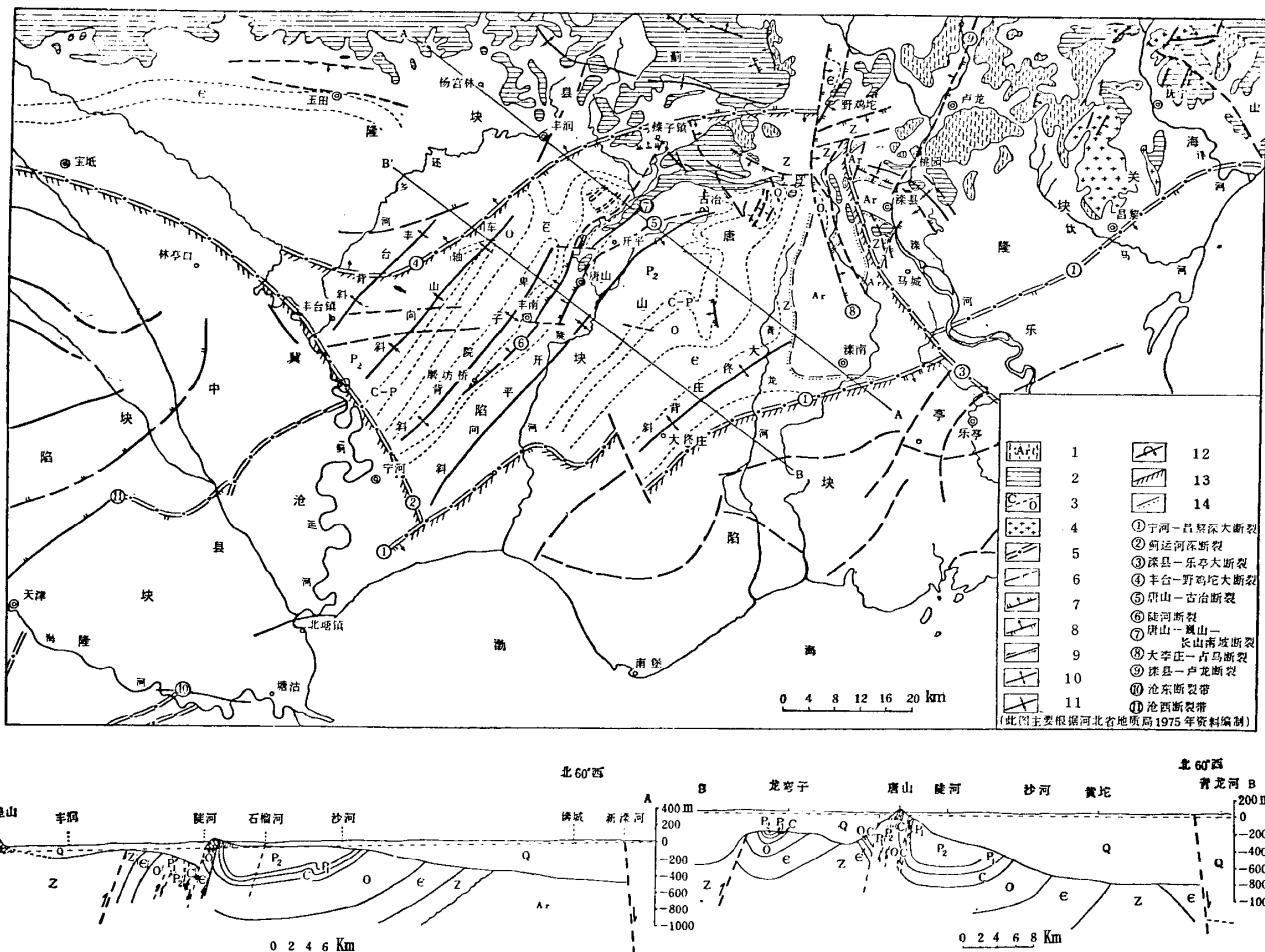


図3 唐山地震断層地塊構造地質図
(この図は主に河北省地質局1975年の資料に基づいている)

- | | |
|------------------|-----------------|
| 1 結晶質基底構造層： | ① 宁河—昌黎深大断裂： |
| 2 古生代・中生代被覆層： | ② 蓟运河深断裂： |
| 3 第四系軟弱層とその地層境界： | ③ 深县—乐亭大断裂： |
| 4 燕山期の斑状花崗岩： | ④ 丰台—野鸡坨大断裂： |
| 5 深断裂・大断裂： | ⑤ 唐山—古冶断裂： |
| 6 一般の断裂と推定断裂： | ⑥ 陡河断裂： |
| 7 正断裂： | ⑦ 唐山—巍山—長山南坡断裂： |
| 8 逆断裂： | ⑧ 大李庄—古鸟断裂： |
| 9 水平ズレ断裂 | ⑨ 深县—卢龙断裂： |
| 10 背軸： | ⑩ 沧东断裂带： |
| 11 向斜軸： | ⑪ 沧西断裂带： |
| 12 逆転向斜軸： | |
| 13 唐山陥没地塊の境界線： | |
| 14 地質断面線： | |

西側の唐山陥没地塊は沈降した。断層面はNEに傾き高角逆断層である。野雞坨—馬城間ではこの大断裂は平行する4本の断層からなり、先古生代に形成され、新しい活動は活発で、滦县以西にはNNW-SSE方向に断裂残山群⁶⁾が並んで分布している。断裂の東側は隆起海岸となり砂丘（高度20～40mに達する）と数段の海蝕台地と陸繫島（図4）が発達している。一方、西側は沈降海岸となり三角州と湿地が発達している。断裂の両側には形成時期の異なる3つの滦河の扇状地が発達している（図4）。これは断裂の新しい時代の活動の結果、滦河が移動したものと考えられ、断裂両側の何回かの運動を反映している。

3000年前から現在までは東側が隆起し、西側が沈降している。断裂の西側の乐亭县王滩公社海岸の2つの小村は1959年に海岸の沈降によって海没した。

薊运河深断裂

この断裂は唐山陥没地塊と沧县隆起地塊の境界をなし、一般にNW-SE方向であるが、宝坻—香河間ではE-Wとなる。断裂に沿う宝坻—香河間は重力梯度帯⁷⁾をなし、東南部の段梯度はゆるやかである。断裂は古生層の分布と中生代の堆積盆の形成を規制している。断裂は古生代以前に形成され新しい活動は活発であるが、薊运河の流路を変えるほどではない。断裂を境として水系の方向は明らかに異なり西側は海河・青龍湾河・潮白河などのように南東方向で、東側は陡河・沙河・青龍河・新滦河などのように南北方向である。

2. 菱形の唐山陥没地塊の内部構造と新しい活動

唐山地塊の基底は先古生代の変成岩で古生代の堆積岩におおわれている。中生層は欠けており第四系の軟弱層が厚く堆積している。第四系は南に著しく傾き、次第にその層厚を増し800m以上に達する（図4）。地形は山麓合成扇状地がひろがっており、北部の山麓には侵食残丘が散在し、それは南に向って消滅してゆく。地塊内には一系列のNE-SW方向の断裂・褶曲が発達している（図3、B-B'断面）。主なものは古生層に発達する唐山断裂である。唐山断裂は次の3本の平行した断裂で構成されている。

1) 唐山—古冶断裂

この断裂の走向は西南部ではN30°E、北東部ではN50°Eである。断裂の南端はE-W方向の断裂に切斷されている。全長は約30kmである。唐山以南の部分は2本の平行する断層で構成されている。2本の断層間の距離は約500mで断層面はともにNWに傾き、西側の断層は逆断層、東側の断層は正断層となっている。

2) 陡河断裂

この断裂の北東部はNWに傾く正断層で、南西部は平行する4本の小断層で構成されている。各断層面はNWに傾き、最も西のものは正断層（図3），その他は逆断層（図3B-B'断面）。全長は約50kmである。

3) 唐山—巍山—長山南坡断裂

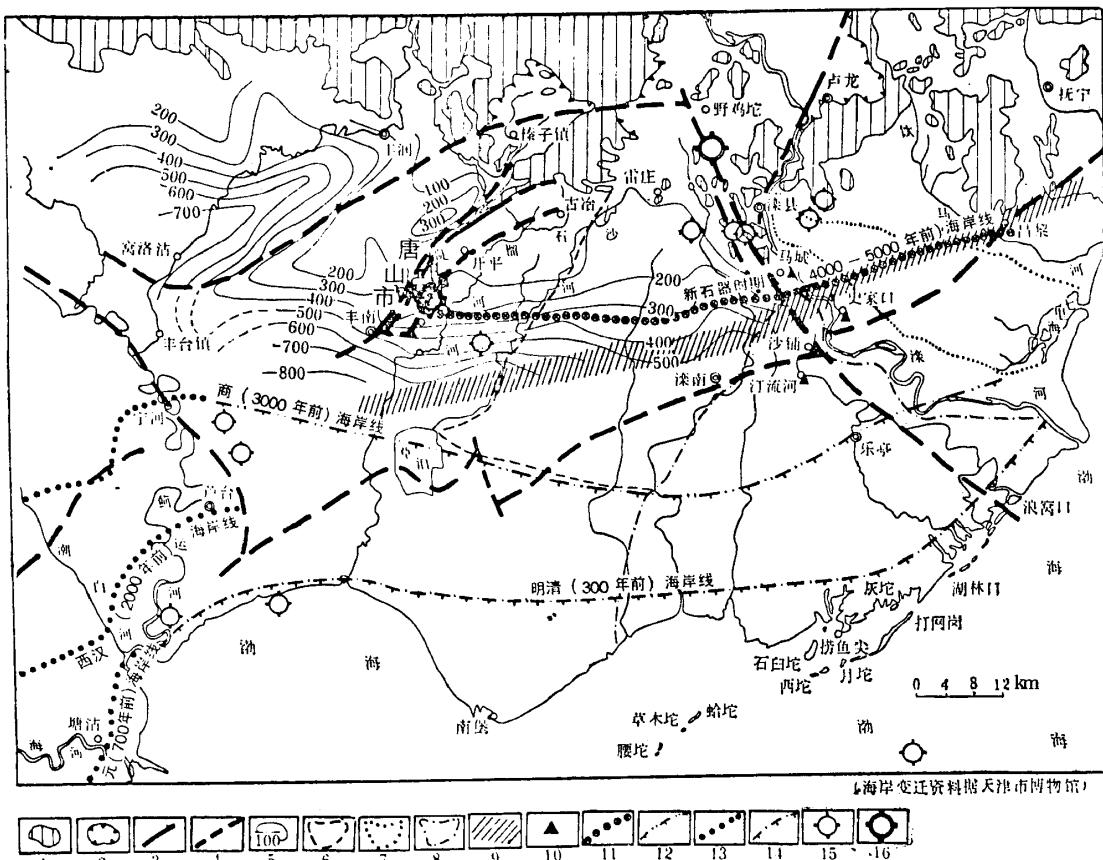


図4 唐山地区新構造運動図

(海岸線の変遷については天津博物館の資料に基づいている)

1. 山地
2. 盆地境界
3. 活動断裂
4. 推定伏在, 活動断裂
5. 第四系等深線
6. 更新世晚期の滦河の扇状地
7. 歴史時代の滦河の扇状地 (3000年前)
8. 歴史時代晚期の滦河の扇状地 (3000年前~現在)
9. 河流纵比降转折带
10. 河川の決壊地点
11. 新石器時代 (4000~5000年前)の海岸線
12. 貝殻堤時代の海岸線
13. 明清 (300年前)の海岸線
14. 唐山 (300年前)の海岸線
15. M=6~7の地震の震央
16. M>7の地震の震央

この断裂はいくつかの断続的な NE-SW 方向の断層群で構成され、多くは NW に傾く逆断層である。これらの3本の断裂は南西の丰南付近で1本に収束し磨坊付近で消滅する。また、唐山断裂帯に伴い一系列の褶曲も存在する。図3のB-B'断面に示すように褶曲構造は西から丰台背斜、东軸山向斜、卑子院背斜、开平向斜、大佟庄背斜がある。これらの褶曲軸は NE-SW 方向で背斜は狭く、向斜は広い、「隔档式構造」⁷⁾⁸⁾の特徴を示している。

それらのうちでも开平向斜は最大の規模で最大の変形を示し、両翼は非対称で南東翼は緩傾斜で北西翼は急で逆転している。唐山断裂帯はこの逆転した翼上に位置している。逆転した翼は断裂によって切断され中部の巍山-長山一帯では NE-SW 方向の細長い地壘を形成し、ゆるやかな山地となっている。唐山断裂の新しい活動は活発である。唐山-巍山-長山断裂は高夷平面⁹⁾と低夷平面の境界をなしている。高夷平面はおよそ大城山-巍山-長山に沿い北東方向に分布し、その高度は 200~250 m で、低夷平面は 40~80 m で南に向

って高度を減じ冲積平野に没する(図5). これらは同一の地形面が断裤断裂により異つ

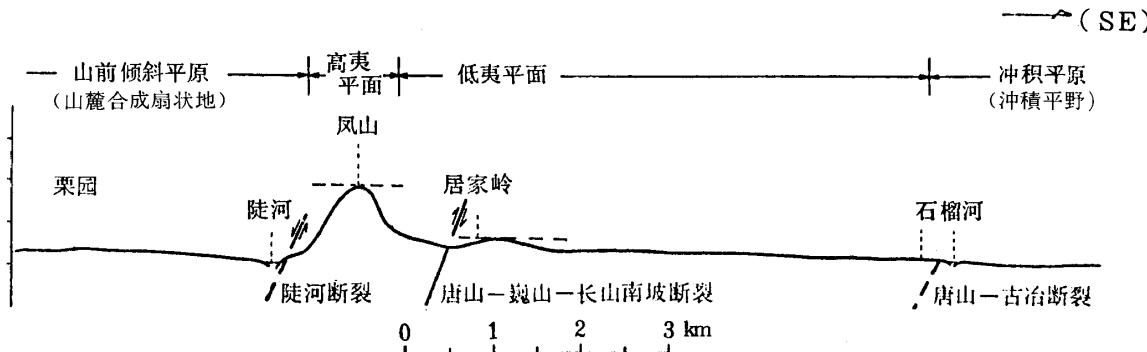


図5 陡河-石榴河の地形断面(夷平面が変位している)

た高度をもつ面に分離されたものであろう. 唐山-巍山-長山断裂によって大城山-巍山-長山は新しい地壘構造をなしている.

陡河断裂はこの地壘の西側に隣接し, これを境に地形は異っている. すなわち東側は高夷平面, 西側は山麓合成扇状地である. 陡河の流路はこの断裂によって著しく影響を受けている. 断裂に沿って第四系の層厚は350mに達している(図4).

唐山-古冶断裂は石榴河の流路を制約するほどでなく低夷平面と冲積平野との境界をなしている. 唐山周辺の低湿地帯はNE-SW方向に断続的に分布し(図6), 沈降と隆起を反映している.

唐山断裂帶は菱形地塊の短かい対角線をほぼなしており, その規模と新しい活動の激しさは周囲の深断裂に比べて小さい. 唐山断裂帶は菱形の両対角と連ならず, その活動は菱形塊体の制約を受けており, そのため破れやすくて破れない相対的“閉鎖区”を形成している.

唐山地震の震源の深さは12kmでコンラッド面の上方に位置する. 震央の震度はⅪ度¹⁰⁾であり, ⅩとⅪ度の等值線はほぼNE-SWにのびており, 北東部ではN30°E, 南西部ではN50°Eの長軸をもち唐山断裂帶と一致する. ⅧとⅨ度の線はENE-WSWにのびており菱形塊体の範囲と一致している. これらの等值線に囲まれた地域の長さと幅の比は2:1となり北東方向の構造が卓越していることを示している. 余震は水平的にはNE-SW方向に分布し(図11), マグニチュード6以上の地震は唐山・深县・宁河の地域内に集中し, 特に深县・宁河に多く集中し, 菱形の唐山地塊のほぼ短かい対角線上に位置する. 余震密集地帯ののび方向は発震機構の節面Aの走向と一致し, この節面は断層面であることを説明しており, それは唐山断裂帶と対応している.

本震と余震の震央の位置から, この地震は唐山断裂の南西部ではじまり本震以後, NE方向に約80km, SW方向に約60kmの距離を発展し対称でない形の両側断裂となった. この余震がNE, SW方向へ移動し深县・卢龙地区に集中したことは, 主断裂の活動が深县-乐亭大断裂(NW-SE)と蔚河大断裂(NW-SE)によって阻止されたためである.

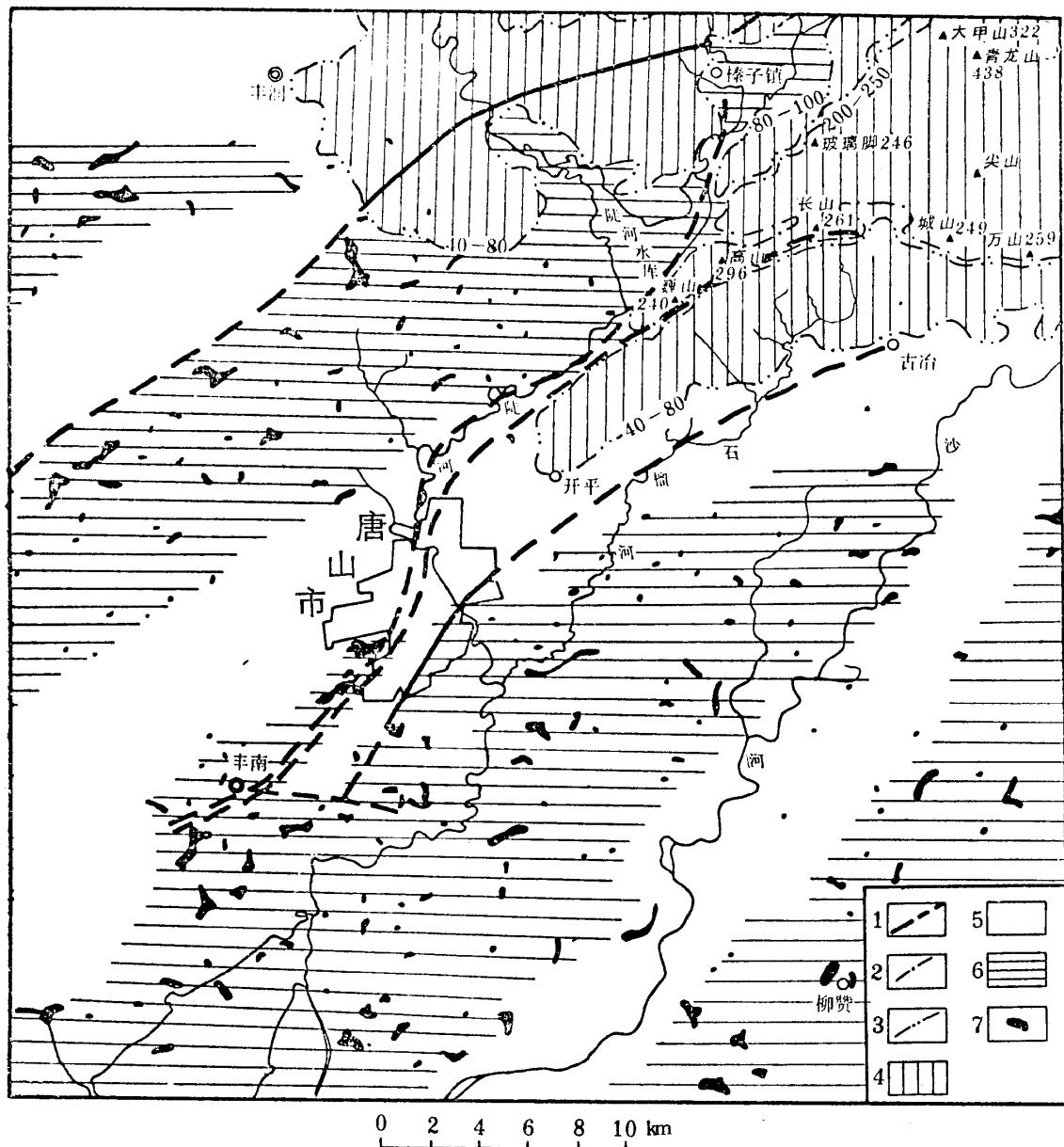


図6 唐山断裂帯新活動図

1. 断層と推定断層： 2. 高夷平面： 3. 低夷平面： 4. 隆起の著しい地区： 5. 隆起のわずかな地区： 6. 沈降の著しい地区： 7. 低湿地

もともと長さ40kmであった唐山断裂帯は、唐山地震の際に再活動し、その両端は新しく断層を形成した。

III. 山地震の応力場分析

ひとつの地震の発生には岩石とその構造のほかに必ず応力場が存在する。地震の発生に關係した応力場を知ることは大地震を知るために重要なことである。区域応力場が唐山地塊に

及ぼした作用は地質構造、地震、地形の変形などから実証することができる。今回の地震は ENE-W SW の圧縮応力のもとで発生したことが考えられる。

① 新構造運動の応力場

唐山地区の応力場は 北地区の新構造運動の規制を受けている。华北地区の新生代の応力場は NE-SW 方向の圧縮と NNW-SSE 方向の伸張でそれは主に断層地塊としてあらわれている。ENE-W SW 方向を持つ太行山山麓断裂帯、惠民-临清断陷带^{[11][4]}、沧州断裂帯、山西中部の雁行する地溝帶^[5]などはこの応力場のもとで形成された伸張性の深断裂、地溝、地壘である。これらは一系列の正断層群によって構成され、NW-SE 方向の伸張の結果と考えられる^[6]。NNE-SSW、NE-SW 方向の S 型と雁行する地溝の存在は唐山地区を含む 北地区が伸張性かつ右横ずれの性質をもっていることを証明している。

唐山地塊を囲む 2 本の NE-W SW の断裂は、新構造運動時期において高角度の正断層であり、NNW-SSE の 一 亭断裂は高角度の逆断層である。地塊内部の唐山断裂帯の新構造運動は正断層で特徴づけられ、NE-SW 方向の微地形としてあらわれており、弱い応力のもとで形成された地溝、地壘と似ている。これらの現象は唐山地区の新構造運動が 北地区と同様の NE-SW 方向の圧縮を受けていることを示している。

② 測地学上からみた応力場

1953～1970 年の水準測量結果^[3]によれば唐山、滦县、滦南一帯は隆起傾向を示し、NW-SE 方向の隆起地区を形成している。この隆起運動によって隆起地区の東側に位置する滦河の流路は北東に移動し、西側に位置する塘沽一帯は沈降している。1969～1970 年の資料によれば隆起速度は 6 mm/年 前後である。この NW-SE 方向の隆起地区は ENE-W SW の圧縮に関係している。

③ 地震断層からみた応力場

唐山地震発生後、極震区内に地質構造と関係する地震断層が発見された(図 7)。それは直観的に発震機構を説明している。地震断層は第四紀軟弱層中に発生し、ほぼ唐山-古冶断裂の南西部と一致する。地震断層は唐山市内の勝利路から南に向い唐山十中、吉祥路を経て市街をぬけ礼尚庄、郑家庄を経て安机塞で消滅する。全長約 8 km、ほぼ N 30°E に走っている。地震断層はいくつかの雁行した地割れから構成されており、それぞれの地割れはほぼ N 40°E の方向を持つ。力学的にみれば NE 方向の地割れは伸張性、張撓性^{[12)}の特徴を示し NW 方向のものは圧縮性、圧撓性^{[13)}の特徴を示している。

張撓性の地割れは雁行状をなし、鋸の歯状、階段状であり、圧撓性の地割れは長くふくらみ、重った瓦状である。NE 方向の地割れは明らかな右横ずれと垂直運動をもっている。水平方向の変位量は最大で 2、3 m～数 10 cm と変化にとんでいる(図 7)。地割れは建物・

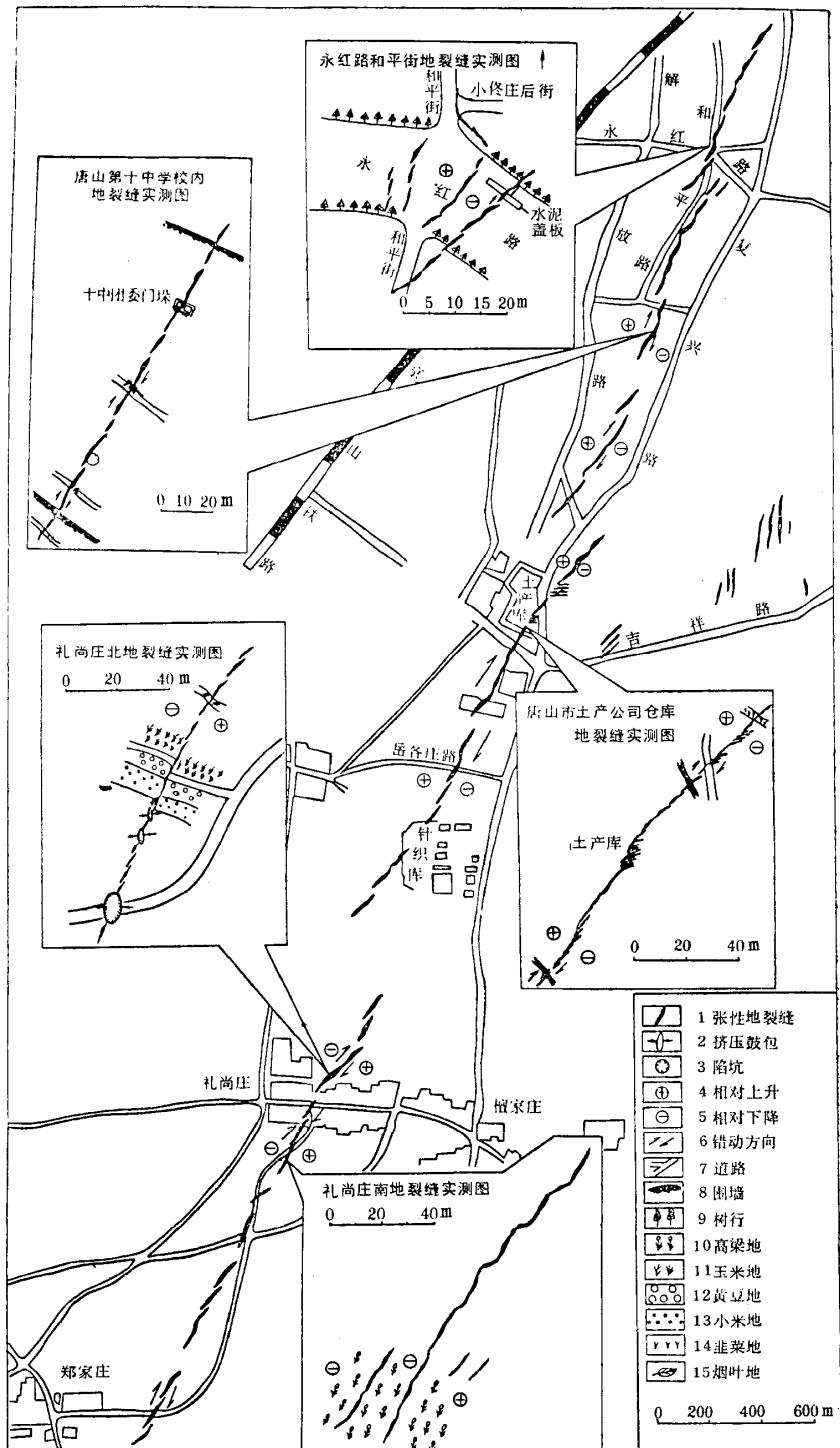


図7 唐山地震の震源区の地震断層

1. 伸張性の地震断層： 2. 圧縮されてできたふくらみ： 3. 陥没した窪： 4. 相対的上昇： 5. 相対的下降： 6. 横ずれ方向： 7. 道路： 8. 墙： 9. 並木：
10. コウリヤン畑： 11. トウモロコシ畑： 12. ダイズ畑： 13. アワ畑：
14. ニラ畑： 15. タバコ畑

道路・堤・コンクリート地面・田畠などにあらわれた。極震区内では変位量はやや大きく両端に向って次第に小さくなつてゆく。垂直変位量は0.7～1mである。2つのNE方向の地割れが出現し、その規模はやや小さく、圧縮性で地表はふくらみ重った瓦状を呈している。この2種の塊割れを力学的に分析すれば、断層運動は右横ずれで地塊応力場と一致している。

④ 発震機構からみた応力場

邢台地震や渤海地震などの発震機構の研究(図11)から、华北北部における大きい地震の主圧応力は主にENE-WSW方向で、右横ずれであることがわかっている。唐山地震の本震と余震の発震機構の解析結果もまた、同様の結論となった。本震の発震機構^[7]によると節面BはN51°W, 70°Nであり、主張応力軸はN13.5°Wで仰角は69°である。唐山地震を発生させた主圧応力はENE-WSWである。

以上まで述べてきたことを総合すれば新期構造時期・最近の地殻変形・地震の際の地震断層及び発震機構の解析結果はすべてENEの圧縮、NNWの伸張を示している。

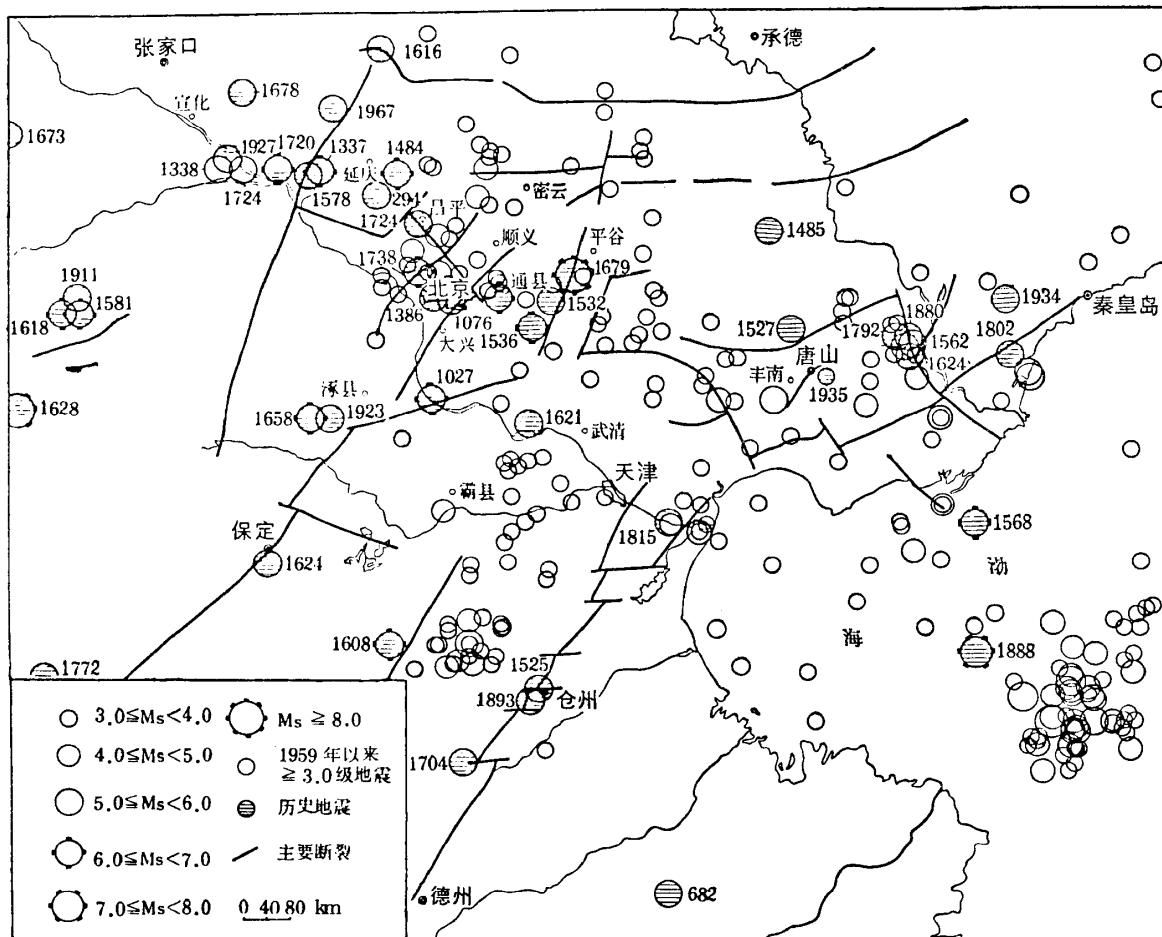


図8 北京・天津・唐山地区の主要な断層と $M_s \geq 3$ の地震震央の分布図

IV. 唐山地震の育成と発生過程

地震の育成と発生は、微小地震の特徴、モデル実験および地震前の物理学現象の変化によって顕著に示されている。地震記録によれば1945年以前には地震分布は唐山地塊の周縁に位置し、1959～1973年には断層地塊周辺の微小地震($M_s \geq 3$)は薊运河断裂と河～昌黎断裂帯に集中し、唐山市周辺20kmの範囲は地震活動は少なかった(図8)。1974～1976年7月中旬までには $M_s \geq 1$ 級の地震は地塊周囲に著しく集中し、1976年後期には滦県～乐亭断裂帯と薊运河断裂帯に集中した(図9)。菱形の中央部の唐山付近には地震がほとんど発生せず地震の空白地区であった。

以上のように微小地震の震央が周辺から中央へと収縮してくる特徴があり、応力場の変化は次のように考えられる。

早期には応力のほとんどが菱形の地塊の周縁部に分散し、分布はやや乱れていた。中期には応力は地塊周辺地区(特に東西両側)に集まり、最後には地塊内の短かい対角線の周辺に集中した。しかし地塊の構造は比較的完全でなお安定していた。大地震の前に明らかな前震がなかったのはこのためであろう。

唐山地震の応力場の変遷はモデル実験でも証明された。実験は3つの部分にわかれる。第1は典型的な菱形の地塊が力を受けた際の応力場の特徴に関する研究、第2は唐山地震の応力場の特徴に関する研究であり、第3はいくつかの傍証実験である。

実験には次のものを選んだ。

環式酸素樹脂：酸無水物：2Dエステル=100:30:35の環式酸素樹脂板材、模型

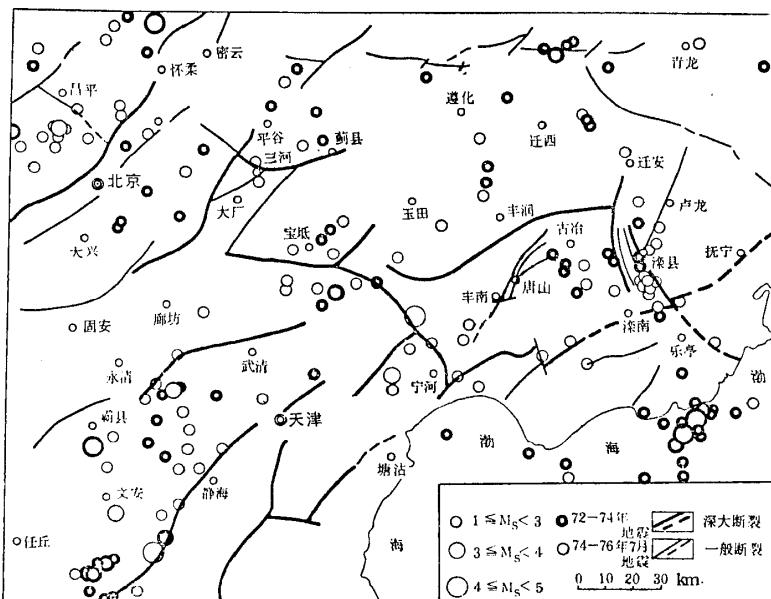


図9 北京、天津、唐山地区 1972～1976年7月 $M_s \geq 1$ の地震の震央分布図

寸法は $12 \times 19 \times 10$ cm で単軸圧縮のもとで光弾性分析を行った。

第1実験 唐山地区の地質構造に基づき、 30×4.5 cm の菱形塊体をとりだし、その鋭角を 60° とし、ENE 方向の圧力を加えその応力場の変化を観察した。図 10-(1), (2), (3) から応力が二つの鈍角部分に集中していることが明らかである。しかも鋭角部分は応力が解放状態となっている。塊体外の鈍角端の応力は短かい辺に片寄って集中し、鋭角端の応力は長い辺に片寄って集中している。外力が次第に増大すると塊体内の応力は鈍角に集中する。応力は菱形内の短かい対角線に集中し、これを対称軸として鋭角方向へ次第に集中してゆく。

第2実験 唐山地区の区域構造の資料に基づいて菱形の地塊を構成している大断裂帯の深さを仮定し実験モデルを作成した。それに ENE 方向の圧力を加えその応力場の特徴を観察した。図 10-(4), (5) は実験の地質構造が典型的な菱形塊体とは異なり非常に複雑であることを示している。しかし、この 2 つの実験から塊体内に破碎帶が存在しなくとも、短軸方向には剪断応力値の高い部分が形成されることがわかる。鈍角の外側は寧河にあたり、野雞塚は鈍角の内側と外側にあたる。実際には菱形の地塊の外に滦県—卢龍断裂（図 3）が存在するために滦県付近にも応力の集中度は高いと考えられる。また、菱形内部に右横ずれの唐山—古冶断裂（図 3）が存在し、この両端に応力が比較的集中していることが考えられる。

第3実験 第2実験の圧力方向を変えて2回の実験が行なわれた。図 10-(6) は NNW

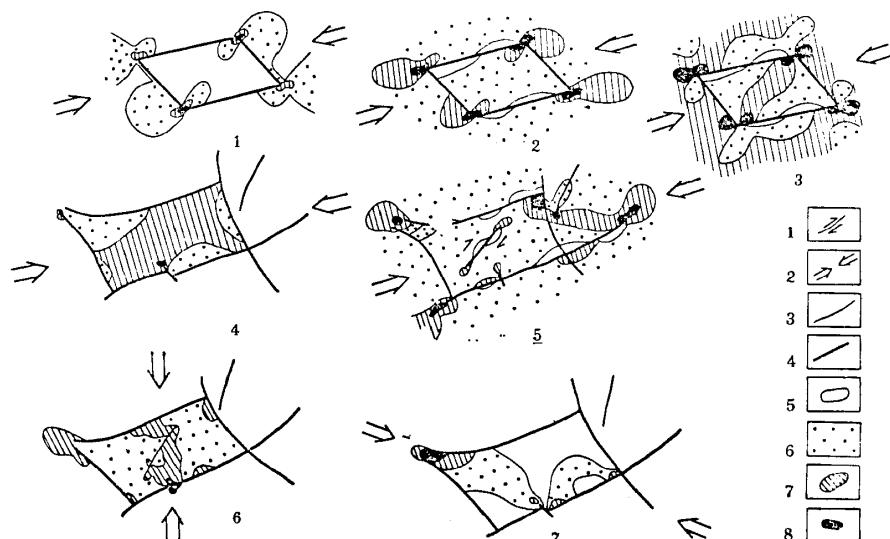


図 10 唐山地震発震構造モデル実験図解

1. 剪断方向:
 2. 圧力方向:
 3. 剪断応力等值線:
 4. 不連続構成面:
 5. 干渉 1 級以下:
 6. 干渉色 1 ~ 2 級:
 7. 干渉色 2 ~ 3 級:
 8. 干渉色 3 級以上:
- (1)～(3)は圧力のもとで菱形塊体の剪断応力等值線図。(1)から(3)に向って圧力は増大し、剪断応力等值線は発展してゆく。(4), (5)唐山地区の複合モデルに ENE 方向に加えた時の剪断応力等值線。(4)は菱形塊体内に構造弱線がなく、(5)は構造弱線が存在する。(6), (7)は唐山地区の複合構造モデルに異なる圧力を加えた時の剪断応力等值線図。(6)は NNW 方向の圧力、(7)は NW 方向の圧力。

方向の圧力を加えたもので、剪断応力値の高い部分は NNE-SSW, N-S 方向の配列をしている。図 10-(7)は WNW 方向の圧力を加えたもので、剪断応力値の高い部分は菱形内の鋸角と鋸角を結ぶ対角線であり、鈍角は応力解放の状態にある。

以上の実験結果から区域応力のもとで菱形塊体の短軸に沿う剪断応力高値帯が形成され、これと一致する断裂は横ずれ運動を起しやすいことが証明された。菱形塊体は地震の発生をうながす環境であり、断裂は具体的な発震場所となった。また、菱形塊体内の鈍角の内側と鋸角の外側には応力が集中し、その範囲は狭いと考えられる。その歪の累積速度は早く、解放までの時間間隔は短く、その量は小さい。したがってその地震活動は“早震、小震”と表現することができる。これに対し、短軸方向ではその両端を除き、応力が集中し歪の累積能力は大きく解放までの時間間隔も長い、このために地震活動は“晚震、大震”と表現することができる。

大地震の前には 50 種以上の物理化学現象が認められる。たとえば地電、地応力、大地比抵抗率の資料に基づき前兆の異常現象を発見した。それは一般に 1976 年 4, 5 月に始まり、臨震異常は 7 月中旬以降、多く出現した。震央から遠い所に臨震異常が発生したのは早くその時間間隔は長く、震央付近ではやや遅くその時間間隔は短かい。地下水、地光、動物反応なども同様の特徴を持っている。このような異常現象はほぼ E-W 方向に分布し、応力場が唐山を通る E-W 線上に集積していたことを示している。菱形の地塊周辺には時間間隔と分布が不規則な異常点が認められ、それは何回もの突然の動きを特徴とする。異常現象の時間間隔は短く、これは大地震前に集中した応力の一部がまず菱形の地塊周辺の断裂上で解放されたあらわれである。一方、この時の地塊内部は応力の集中が続くが構造変形中の“閉鎖地区”であるために各種の前兆現象があらわれるのが遅く、集中が十分でなく歪エネルギーは容易に解放されない。実験から相対的閉鎖状態の地区は将来の震源となりうることがわかる。^[8]

上述の多方面の資料より地震が発生するまでの過程は応力が周辺から中央に向って収縮し、次第に震源体を形成することが証明された。この後、区域応力場を一步進めた作用のもとにあって震源体中の唐山断裂帶（塊体中の相対的“閉鎖地区”）は最大の横ずれ応力を受けた後、歪エネルギーは解放され、地震を発生する（図 11）。すでに述べた微小地震活動の特徴とモデル実験結果と前兆異常現象と海城地震の特徴^[9, 10]を参考にして唐山地震が発生するまでの過程と発震過程を簡略に 5 つの段階にわける。

第一段階　　歪の累積と微破裂一中、長期異常段階（1959～1976年初頭）—
異なる地域の大・小の現象に基づいて第一段階は早期と晩期とにわけられる。早期（59～73 年）は大地区の歪の累積と微破裂を特徴としている。微小地震活動が菱形塊体の外周に広く多く分布している。まず応力と歪が比較的広い範囲内に出現し、その後唐山灤県地区に地殻変形が出現し、NW-SE 方向の隆起帯が形成された。晩期（74 年～76 年初頭）は

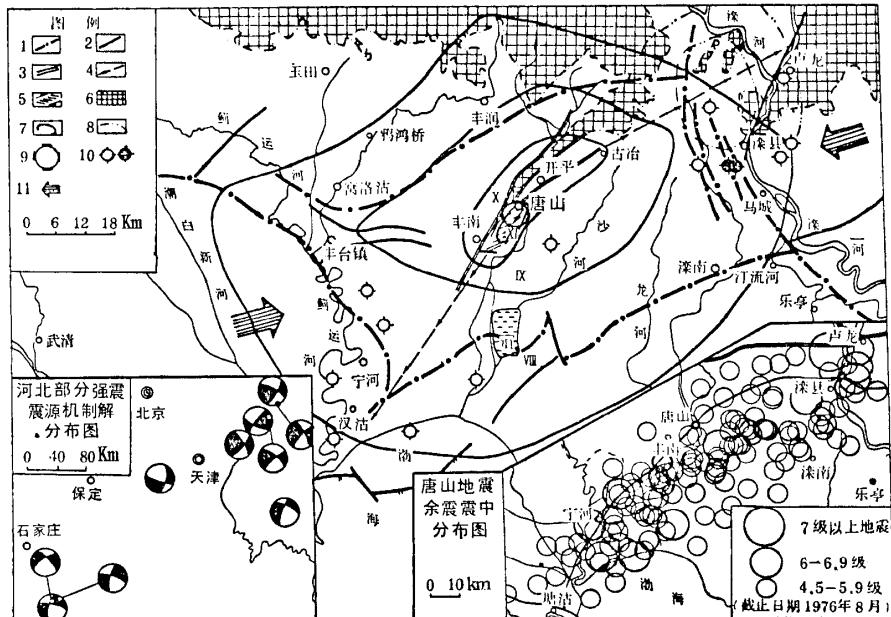


図11 唐山地震の発震構造分析図

1. 発震構造縁辺の断裂： 2. 伏在する一般の断裂： 3. マグニチュード7.8の地震と関係のある断裂帯： 4. 本震が発生した時に形成されたと考えられる断裂とその破断方向： 5. 地震断層とその運動方向： 6. 基盤岩露出地区： 7. 7月28日のマグニチュード7.8地震の等震度線： 8. 7月28日のマグニチュード7.1地震の等震度線： 9. マグニチュード7.8地震： 10. マグニチュード6以上の余震・横線がはいっているのは歴史時代の地震： 11. 主圧応力方向

小地区的歪の累積と微破裂を特徴としている。微小地震活動が菱形の地塊の周辺（特に東西縁辺）に多く集中している。同時に唐山深県地区の地殻変形は激しくなり隆起は沈降に変っていった。^④ 異常が認められる範囲は発震構造区に向って収縮していることを説明している。この段階は実験の弾性-弾塑性変形段階と同じである。

第二段階　区域の歪の加速-短期異常段階（1976年4月～7月中旬）

塊体外周の微震活動は増大し、広い範囲に地形変形、地応力、大地比抵抗率などの異常が出現し発展した。実験の弾塑性変形の晚期段階と同じである。

第三段階　震源区の歪が急速に加速-臨震異常段階-（7月中旬より本震前まで）

震源に応力は集中し、各種の前兆異常現象は著しくなった。微観現象¹⁴⁾は地震前の激化状態となった。宏観現象は多く認められた。たとえば地下水位の昇降や地下水中の化学成分の変化であり、含砂量の増加、多量の動物異常、地光、地声、地殻変形が隆起から沈降に変わるなどである。微破裂は激化し唐山鉱山の鉱道下の岩石は落盤し、唐山断裂帶の井壁は崩壊した。実験の塑性流動段階と同じである。

第四段階　主破断発生-歪の多量解放段階-（7月28日）

長期にわたって累積した歪エネルギーは一時に解放され、各種の微観、宏観現象はすばやく激しく発展し、ゆるやかな運動から突発的な運動へと変った。

第五段階 本震後の調整段階

歪エネルギーの多量の解放後、応力は新らたな地区に累積し、一連の余震を起した。各種異常は調整過程にも出現し反復した。

結 論

唐山地震はE-W方向の構造地震帯とNE-SW方向の構造地震帯との交点に位置する地殻深部の隆起構造部に発生した。NE-SW方向の唐山断層帯は菱形塊体を構成する周囲の断裂によってある期間平衡を保ち相対的“閉鎖区”を形成していた。地塊内の“閉鎖区”はENE方向の区域応力場のもとで次第に歪エネルギーを蓄積して大きな震源体となり、発震断層上の右横ずれ運動となり閉鎖は突破され地震が発生した。

唐山地震の結果、地震の中・長期预报にとって構造地震帯の交点と地殻深部の隆起部をさがすことは十分意義のあることがわかった。比較的正確な地震危険区をさがす時、構造帶上の相対的“閉鎖区”と地震帶上の地震空白地域をさがすことを重視しなければならない。特に両者の一致した点が重要である。最近十数年に华北地区に発生した邢台地震・河間地震・渤海地震・海城地震^[10]はすべて“閉鎖区”と地震空白区に起っている。华北地区のこれらの地震活動の特色をとらえた新たな地震危険区をさがすことは重要な問題である。

本論文のモデル実験の部分は地質班の潘秋叶・楊桂枝・郝宇红同志によって提出された資料に基づいていたものである。ここに謹んで感謝の意を表します。

(1977年1月4日受領)

参 考 文 献

- [1] 中国科学院地质研究所大地构造編[图组], 中国大地构造基本特征及其发展的初步探讨, 地质科学, 1974, (1).
- [2] 中国科学院地质研究所, 中国大地构造纲要, 1959年.
- [3] 中国科学院地质研究所, 中国地震地质概论, 1974年.
- [4] 中国科学院地质研究所山东地震地质考察小组, 山东块断构造特征与地震带的初步划分, 地质科学, 1974, (4).
- [5] 张文佑等, 初论断层的形成和发展的关系, 地质学报, 1975, (1).
- [6] P. Molnar & P. Tapponnier, Cenozoic tectonics of Asia; Effects of a continental collision, Science, 189(1975), 4201, 419-426.
- [7] 邱群, 1976年7月28日河北唐山7.8级地震的发震背景及其活动性, 地球物理学报, 19 (1976), 4.
- [8] 中国科学院地质研究所实验地质组, 破裂形变前兆的空间分布与震预报问题, 地质科学, 1976, (3).
- [9] 鄧起东等, 关于海域地震震源模式的讨论, 地质科学, 1976, (3).

中国の地震予知の現状

[10] 王 梅等, 海域地震地质构造背景与发震构造的探讨, 地质科学, 1976, (3).

原 文 の 注

- ① 野外調査には馬瑾, 張渤海, 袁淑榮同志も参加している。
- ② 李祥根 1976 年資料。
- ③ 天津地震測量隊 1971 年資料。
- ④ 据地震測量隊 1976 年資料。

訳 者 の 注

- 1) 深断裂・大断裂・断裂はすべて日本語では断層となる。断層をいくつかのランクにわけて使いわけている。
- 2) 原文では海城となっているが誤植と思われる。
- 3) 震旦系は中国の先カンブリア系上部の代表的年代地層区分名称。
- 4) 冀魯は河北と山東のことである。
- 5) 河川の遷急点のことか?
- 6) ケルンバットのことか?
- 7) 重力がだんだん高くなるということか?
- 8) しきりという意味。
- 9) 高位の侵食されて平坦になった面、高位浸食小起伏面。
- 10) 中国独自の震度階。
- 11) 断層陥没帶?
- 12) ひっぱりを伴った横ずれ。
- 13) 圧縮を伴った横ずれ。
- 14) 器機観測にあらわれるような小さな前兆現象のこと?