

550.84 : 546.264 + 547.9 + 546.217 : 550.4 :
551.249 : 551.312 : 550.341 (521.52)

松代地震地域における地化学探査（続報）

永田松三・伊藤司郎

地質調査所

Geochemical Investigation of Matsushiro Earthquake Region

By

Shozo Nagata and Shiro Itoh

Geological Survey of Japan, Tokyo

Abstract

This is a continuation of a previous study on the application of geochemical method to the detection of fault zone or fissure in the basement. In the present work, the surveyed area is extended horizontally and vertically. Three zones of anomalous CO₂ contents in soil air were found. The localities and directions of these anomalous zones may correspond to the fault lines expected from geological survey of this earthquake region. It is recognized that the CO₂ contents in soil air decrease with increase in thickness of alluvial beds. At the anomalous points, it is noticed that the CO₂ contents in soil air from different depths within 3 m are almost the same and they tend to increase with time when measured after 2, 3 and 4 days.

要 旨

松代地震地域における総合研究の一環として、前回は引続いて平野部に伏在する地下構造の地化学探査を行なった。

前回の調査は、調査方法を確立することを主目的として行なったものでありその結果大体目的を達し得たことは前報ですでに報告した。¹⁾しかし残された問題点も多く、今回の調査は主として前

回の観測線を中心に測線の範囲を拡げて、CO₂含量の水平および垂直的な分布をしらべ、CO₂の地下からの供給経路や土壌中の有機物との関係などについて検討を行なった。

これらの結果明らかとなったことは次の諸点である。

1. 各測点のCO₂含量による等値線図から、第I～IIIの異常値Zoneを見出した、これは地質図から予想された断層および破碎帯のそれぞれ延長方向によく一致した。
2. 調査地域の北西方向(沖積層の厚さの増大する方向)の断面によるCO₂含量の分布は、各異常値Zoneに対してはその厚さの増大する方向にCO₂含量は低下の傾向を示し、非異常値域のそれは変化が認められなかった。
3. 異常値の測点におけるCO₂含量は、1～3mの深度までは垂直方向の変化は認められなかったが、経日変化はいずれも増加の傾向を示した。

1. 緒言

前報では、本地域の地下構造を推定するための地化学的な探査法として、CO₂を指示成分とする土壌空気法について検討しその可能性を確認するとともに次のような諸点を明らかにした。¹⁾すなわち

1. 土壌中の有機物から生成するかもしれないCO₂の測定値にあたる影響は無視できること。
2. CO₂含量の異常値を示す測点は、経日変化によるその増加率も大きいこと。
3. 測点中の異常点では地下の深部から不断にCO₂の供給が考えられること。
4. 測点中の異常点は、地質図、重力探査図から予想された断層線上に見出すことができたこと。

などである。

今回は次のような諸点に重点を置き、これらを明らかにすることを目的として調査研究を行なった。

1. 既存の測線に数本の平行測線を設け、CO₂含量および経日変化の増加率から異常値Zoneを見出し断層の方向を推定する。
2. 異常値を示す測点におけるCO₂含量の垂直的分布から深度による変化を明らかにする。

3. 沖積層の層厚との関係を求めるために、北西方向に断面を切り、そのCO₂分布を明らかにする。

現地における今回の調査研究期間は、昭和42年6月19日～6月29日の11日間である。

本調査研究の実施にあたって、現地調査に種々御便宜をいただいた長野市役所松代支所の関係者各位、また本報告のとりまとめに種々の御教示と討論をいただいた地質調査所地球化学課長本島公司氏、化学課長竹田栄威氏、これらの方々に厚い謝意を表する。

2. 調査地域

松代地域の周辺の山地に広く分布する新第三系地層は南側の山麓部から北西にゆるく傾く単斜構造を示し、扇状地形を呈する平野部の沖積層下に没してその基盤を形成している。

皆神山周辺は礫質扇状地堆積物で被われ、その北西側の加賀井地区は湿地帯をなしている、また市街地から千曲川沿いは旧河道の砂地帯となっている。²⁾

前回の試験観測線(A測線)は、これらの平野の砂地帯において地質図および重力線図から予

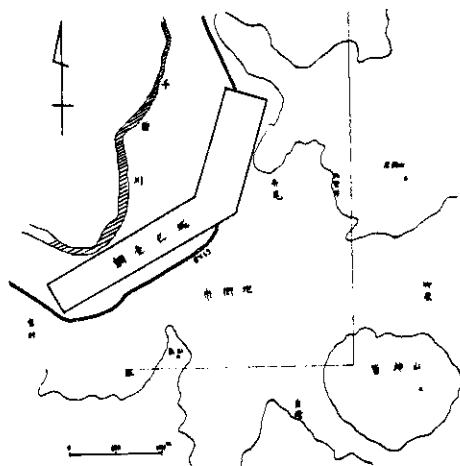


図-1 地化学探査位置図

Location map of geochemical investigation

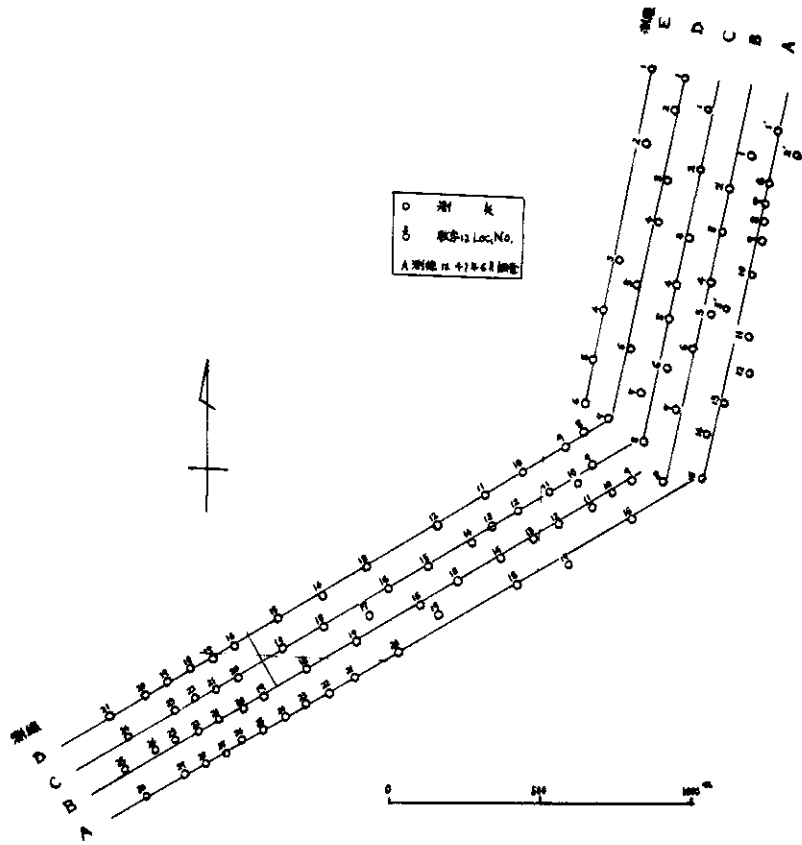


図-2 地化学探査測点位置図
Locations of geochemical investigated points.

想される断層線に斜交する測線東寺尾—宮村間に設けた。

今回の調査はこのA測線に平行して北西側に約100m間隔のB, C, D, E各測線を設け、観測した測点は約100点である。

調査位置は図-1, またこれらの測点位置は図-2に示した。

3. 調査方法

観測井のさく孔はハンドオーガを用い、径5cm, 長さ1.3mの孔を掘り、孔底より30cm上部を空気溜めとし、これに径1.4cmの硬質ビニール管を導管として設置した。

大気の遮断は中間に、半練りのベントナイト層を置くことによって目的を達した。

さく井と同時に空気だめの大気を抜き出し、その直後に土壤空気を採取し、さらに密栓して放置2日後に導管より土壤空気を採取した。これらの試料は現場でメタン干渉計によりCO₂%の簡易測定を行ない、実験室でガスクロマトグラフィーによって組成分析を行なった。

メタン干渉計によるCO₂%の測定は、現場で迅速に結果がわかり観測井の良否、測点間隔の調整などを行ない得るので便利である。この干渉計の精度は良好でガスクロの結果と数%以内で一致する。この結果は図-3に示した。

4. 調査結果

4.1 土壤空気の組成

各測点において採取した土壤空気^{注1)}の組成の主

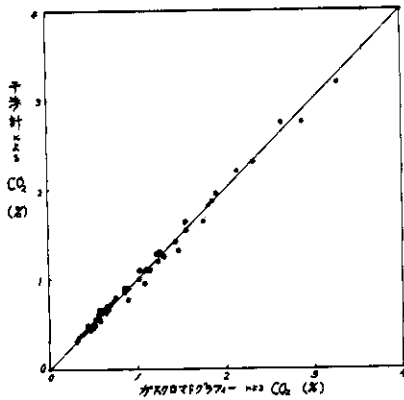


図-3 メタン干渉計のCO₂(%)の精度
Accuracy of methane interferometer
for measurement of CO₂ (%)

な分析例を表-1に示した。

この表からも知られる如くこの地域の土壤空気の組成は、CO₂は0.32~2.88%、O₂は16.4~20.8%、N₂は78.6~80.9%を示した。

一般に、CO₂ %の増加に対してO₂ %は減少傾向を示したが、N₂ %は余り変化を示さなかった。また、CH₄ %は0.01%以下ではほとんど検出されなかった。

異常値を示す測点を除いた地域別の各測点のCO₂平均含量(Back ground)は土質によって異なる値を示す。すなわち、粘土質土壌は0.6~1.0%、砂質土壌は0.3~0.5%を示し、これに対し異常値を示す測点はCO₂平均含量の1.5~4倍量を示した。

表-1 土壤空気組成表 (Vol.%)
Components of soil air. (Vol.%)

Loc. No.	土質	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	N ₂ (%)	CH ₄ (%)	Loc. No.	土質	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	N ₂ (%)	CH ₄ (%)
-1m A 16	褐色粘土質	2.33	18.12	79.55	0.01>	C 2	褐色粘土質	0.67	19.67	79.66	0.01>
" 16	"	2.43	18.06	79.51	"	" 9	細粒砂質粘土	0.73	18.43	80.84	"
-3m " 16	中粒砂質粘土	2.33	18.55	79.12	"	" 10	褐色粘土質	1.83	18.21	79.96	"
-1m A 27	細粒砂質粘土	0.97	19.60	79.43	"	" 11	細粒砂質粘土	0.43	20.42	79.15	"
" 27	"	1.35	19.50	79.15	"	" 12	"	2.88	16.28	80.84	"
-3m " 27	中粒粘土	1.32	19.26	79.32	"	" 19	中粒粘土	0.43	20.76	78.85	"
B 2	褐色粘土質	1.81	19.79	78.40	"	" 20	褐色粘土質	0.54	20.08	79.38	"
" 6	"	1.39	19.29	79.32	"	" 22	細粒砂質粘土	0.73	19.62	79.65	"
" 7	"	0.68	20.47	78.85	"	" 23	"	0.37	19.41	80.22	"
" 9	"	0.46	20.52	79.02	"	D 2	褐色粘土質	1.53	19.74	78.61	0.12
" 10	"	1.12	18.21	80.67	"	" 3	"	0.92	20.18	78.90	0.01>
" 11	細粒砂質粘土	1.85	17.41	80.74	"	" 4	"	1.37	20.25	78.38	"
" 12	"	0.55	20.76	78.69	"	" 9	"	0.46	18.99	80.55	"
" 14	"	2.62	16.43	80.95	"	" 10	中粒砂質粘土	0.32	20.10	79.58	"
" 15	"	0.56	20.71	78.73	"	" 11	褐色粘土質	1.75	19.39	78.86	"
" 16	"	0.48	20.15	79.37	"	" 12	"	0.50	20.03	79.47	"
" 19	"	0.44	20.13	79.43	"	" 16	"	0.38	20.33	79.29	"
" 20	中粒粘土	0.39	20.90	78.71	"	" 17	細粒砂質粘土	0.38	20.82	78.80	"
" 21	細粒粘土	0.50	20.25	79.25	"	" 18	"	0.60	20.77	78.63	"
" 22	"	0.66	20.41	78.93	"	E 1	褐色粘土質	0.82	20.62	78.56	"
C 1	褐色粘土質	1.22	18.87	79.91	"	" 5	"	1.17	19.42	79.41	"

土壌の性質によりCO₂平均含量が相違することは、土壌の持つ化学的、物理的性質の違いに起因しており、空隙の大きい砂質土壌(粗粒)が粘土質土壌(細粒)にくらべてCO₂平均含量が少ないのはこのためである。

4.2 CO₂含量およびCO₂増加率の水平的分布
各測線におけるCO₂含量およびその経日変化による増加率の水平的分布をそれぞれ図-4に示した。

この図から明らかなように、各測線において異

常値を示す測点は、CO₂含量がその地域のCO₂平均含量より高含量を示したもの、または、CO₂の供給速度を表わす経日変化によるCO₂の増加率がその地域の平均増加率より大きい値を示したものとした。

これらCO₂含量およびCO₂の増加率による異常値の測点はA測線と同様にいずれも大体一致する結果を示している。

各測線(B, C, D, E)上の異常値の測点を結ぶと大略南東から北西の方向をもっていることが注

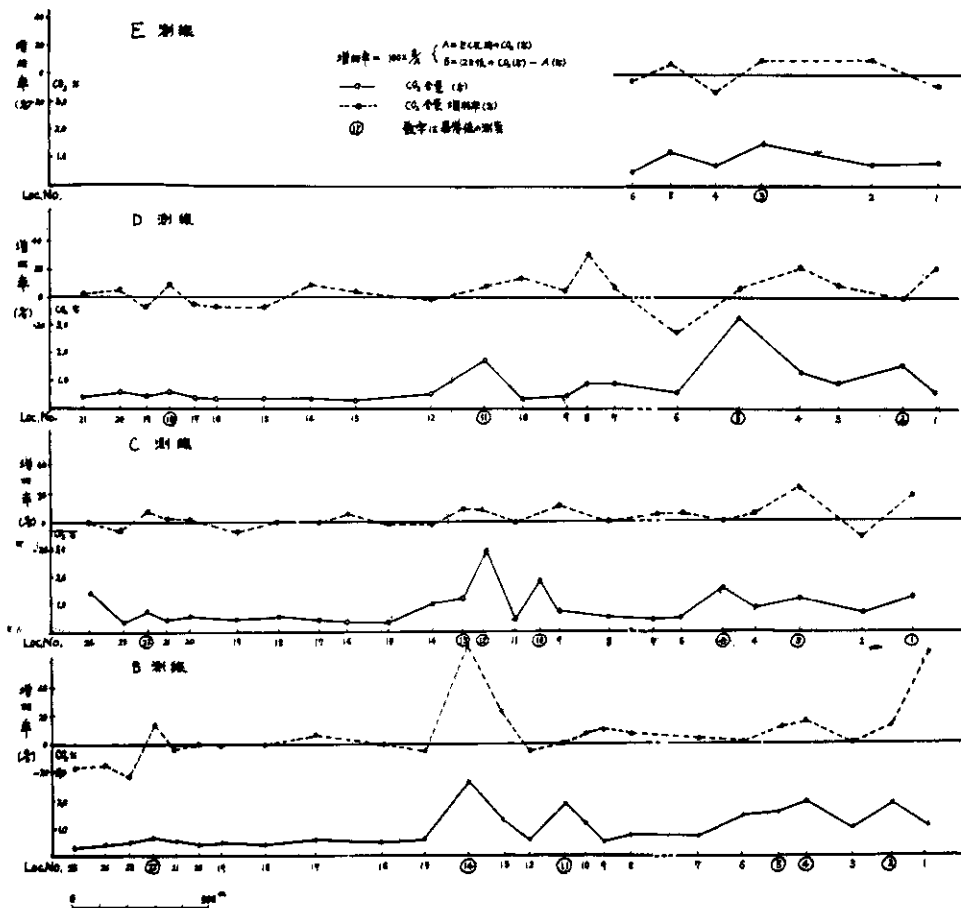


図-4 CO₂含量の水平分布及び経日変化の増加率
Horizontal distribution and increasing ratio by the lapse of days for the CO₂ contents.

目される。そしてこれらの異常値 Zone は3つの Group に分けることができる。

これを西側から第Ⅰ、第Ⅱ、第Ⅲの異常値 Zone とよぶこととする。各測線との関係は次のとおりである。

第Ⅰ異常値 Zone B測線, Nq 2, Nq 4, No. 5, C測線, Na 1, Nq 5, D測線, Nq 2, Nq 5, E測線, No. 3

第Ⅱ異常値 Zone B測線, Nq 11, Nq 14, C測線, Nq 10, Nq 12, No. 13, D測線, Nq 11

第Ⅲ異常値 Zone B測線, Nq 22, C測線, No. 22, Nq 24, D測線, Nq 18

このうち第Ⅲ異常値 Zone が他の異常値 Zone に比べてCO₂含量, 経日変化の増加率がやゝ少ないが, この地域が砂質土壌のため土壌中のCO₂が大気との交換現象を起した結果によるものであろう。

4.3 CO₂含量の垂直的分布

深度方向に対して土壌空気中のCO₂含量の変化を見るために, 異常値を示した測線のA測線No.16(粘土質土壌), No.27(砂質土壌)の2点について各1 m, 2 m, 3 m深度のさく孔を行ない同様な方法で土壌空気を採取しCO₂含量およびCO₂増加率の測定を行なった。この結果について図-5に示した。

この図から, 明らかなように3 m程度の深さま

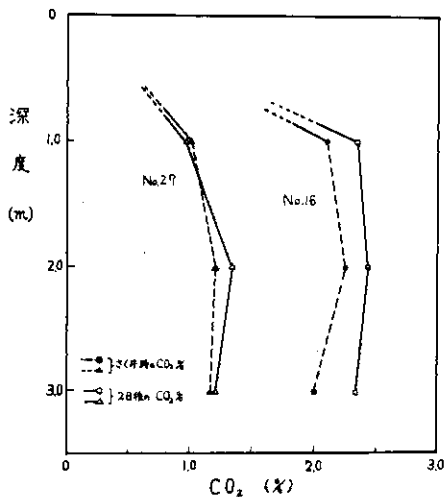


図-5 CO₂含量の垂直分布
Vertical distribution of CO₂ contents.

ではCO₂含量に大きな変化は認められないし, 経日変化による増加率も増加の傾向を示している。これは地下よりCO₂の供給が不断に行われていることを暗示しているものと思われる。

この中でNo. 27の1 m深度のCO₂含量が多少低く, また, 経日変化の増加率も減少する傾向を示している。この原因としては, この測点周辺一帯が長芋畑の耕作地であって調査時期がその収穫期にあつたため, 1 m前後の層が人工的に攪乱されていたことが考えられる。

4.4 土壌中の有機炭素量

土壌空気の採取層が1~1.3 mの浅いところでは表層の腐蝕土による影響が考えられる。これらの関係を明らかにするため同一深度の土壌中の有機炭素量の測定を行ないCO₂含量との関係を検討した。

異常値を示す測点のCO₂含量は, 土壌中の有機炭素からのCO₂はほとんど無視し得ることは前報ですでに報告したが, 今回は土壌中の有機炭素量とくに深度に対する関係を明らかにした。

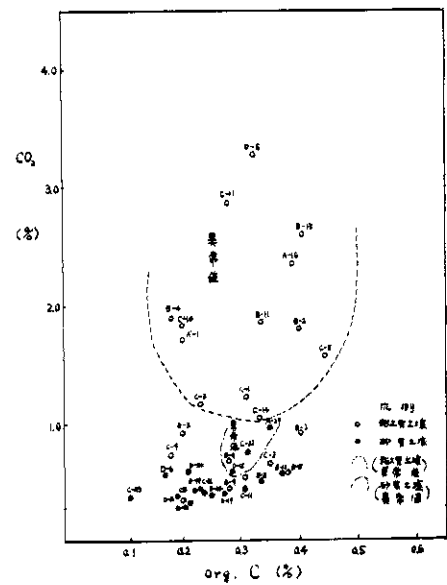


図-6 土壌中の有機炭素量とCO₂含量との関係
Relation between organic carbon contents and CO₂ contents in soil.

表-2 土壌中の有機炭素量
Organic carbon contents in soil.

Loc. No.	深度 (-m)	土質	CO ₂ (%)	含水率 (%)	Org C (%)	Loc. No.	深度 (-m)	土質	CO ₂ (%)	含水率 (%)	Org C (%)
A27	0.5	褐色粘土質		21.4	0.43	C 1	1.0	褐色粘土質	1.22	28.1	0.31
"	1.0	" "	0.97	24.3	0.35	2	1.0	細粒砂質粘土	0.67	28.7	0.35
"	2.0	" "	1.35	19.5	0.28	3	0.5	褐色粘土質		23.3	0.42
"	3.0	中粒砂質粘土	1.32	17.0	0.20	"	1.0	" "	1.16	22.5	0.23
A16	0.5	細粒 "		28.7	0.42	5	0.5	" "		27.9	0.48
"	1.0	" "	2.33	27.2	0.39	"	1.0	" "	1.57	24.1	0.44
"	2.0	" "	2.43	26.7	0.24	11	1.0	細粒砂質粘土	0.43	17.9	0.31
"	3.0	中粒 "	2.33	22.2	0.24	12	1.0	" "	2.88	21.0	0.28
A 1	0.5	褐色粘土質		25.7	0.27	19	0.5	" "		23.1	0.34
"	1.0	" "	1.70	26.4	0.20	"	1.0	中粒 "	0.44	23.3	0.23
A 2	0.5	" "		21.4	0.40	22	0.5	細粒 "		22.1	0.57
"	1.0	" "	1.31	26.3	0.38	"	1.0	" "	0.73	22.9	0.30
B 3	1.0	" "	0.90	24.0	0.53	D 2	0.5	褐色粘土質		22.5	0.35
4	1.0	" "	1.89	24.5	0.18	"	1.0	" "	1.53	30.5	0.28
B12	0.5	細粒砂質粘土		22.5	0.40	3	0.5	" "		20.5	0.42
"	1.0	" "	0.55	25.1	0.30	"	1.0	" "	0.92	22.9	0.20
B14	0.5	" "		30.4	0.45	5	0.5	" "		28.4	0.44
"	1.0	" "	2.62	25.3	0.41	"	1.0	" "	3.28	27.1	0.32
B15	1.0	" "	0.56	28.0	0.37	19	1.0	細粒砂質粘土	0.41	21.5	0.27
19	1.0	" "	0.44	13.9	0.22	20	1.0	" "	0.60	21.7	0.21
21	1.0	" "	0.50	20.0	0.33	E 2	0.5	褐色粘土質		21.4	0.45
24	1.0	" "	0.39	22.0	0.25	"	1.0	" "	0.75	20.3	0.31

Org C の分析はTYULIN法にて村田富子技官が定量した。

試料は各測点の0.5m, 1.0m 深度およびA測線 No.16, No.27の測定については3mまで1m毎に試料の採取を行なった。各測点における土壌中の有機炭素量とこれに対応する土壌空気中のCO₂含量との関係を図-6に、また、深度別の有機炭素量の分析結果を表-2に示した。

この図から明らかなように土壌中の有機炭素量は土壌の性質によって多少ちがうが大体0.1~0.5%の範囲にある。そして異常値を示す測点のCO₂含量は有機炭素量とは関係なく高い値を示すことは前回のA測線における結果と全く同じである。

また、深度に対する有機炭素量は表-3から明

表-3 CO₂ 含量の経年変化
Change of CO₂ contents by the lapse of years.

成分 調査年月 Loc. No.	CO ₂ (Vol%)		CO ₂ 増加率 (%)	
	41.6	42.3	41.6	42.3
A12	4.67	4.25	+43	+7
A16	2.13	2.11	+50	+6
A27	1.34	1.00	+5	-4

らかなように、0.5m 深度に比べて1 m 深度のものは例外なく10~50%の減少を示している。3 m 深度まで行なった2点についても同様であって、

0.5~3mまで深度が増すごとに漸減を示し表層の0.5 m に対して3 m 深度のそれは約50%の減少を示している。

この結果から、土壌中の有機炭素量の垂直分布は深度方向に減少傾向を示し、CO₂ 含量のそれと相関を示さないことから少なくとも異常値を示す測点においてはCO₂の測定値に対して無視し得ることが明らかとなった。

5. 考察

松代地震地域における地下構造を推定する1つの方法として、筆者らはCO₂を指示成分とした土壌空気法による地化学探査を実施し次のような成果をあげることができた。

すなわち、土壌空気中のCO₂含量の変化からそ

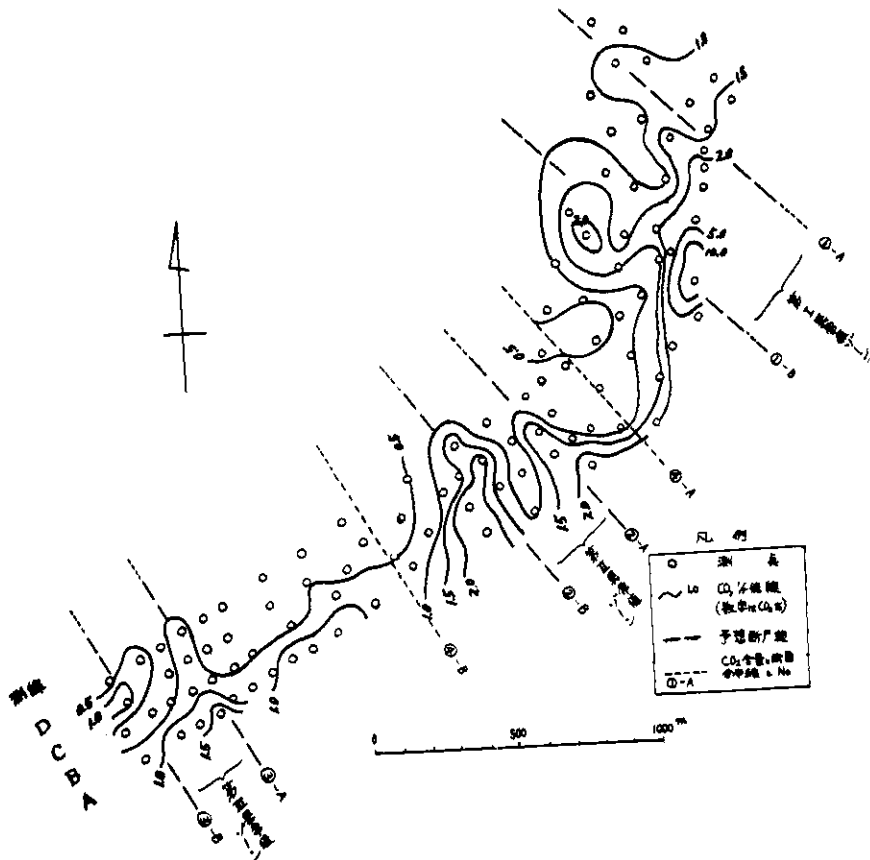


図-7 CO₂ 等値線図
Isopleths of CO₂ contents.

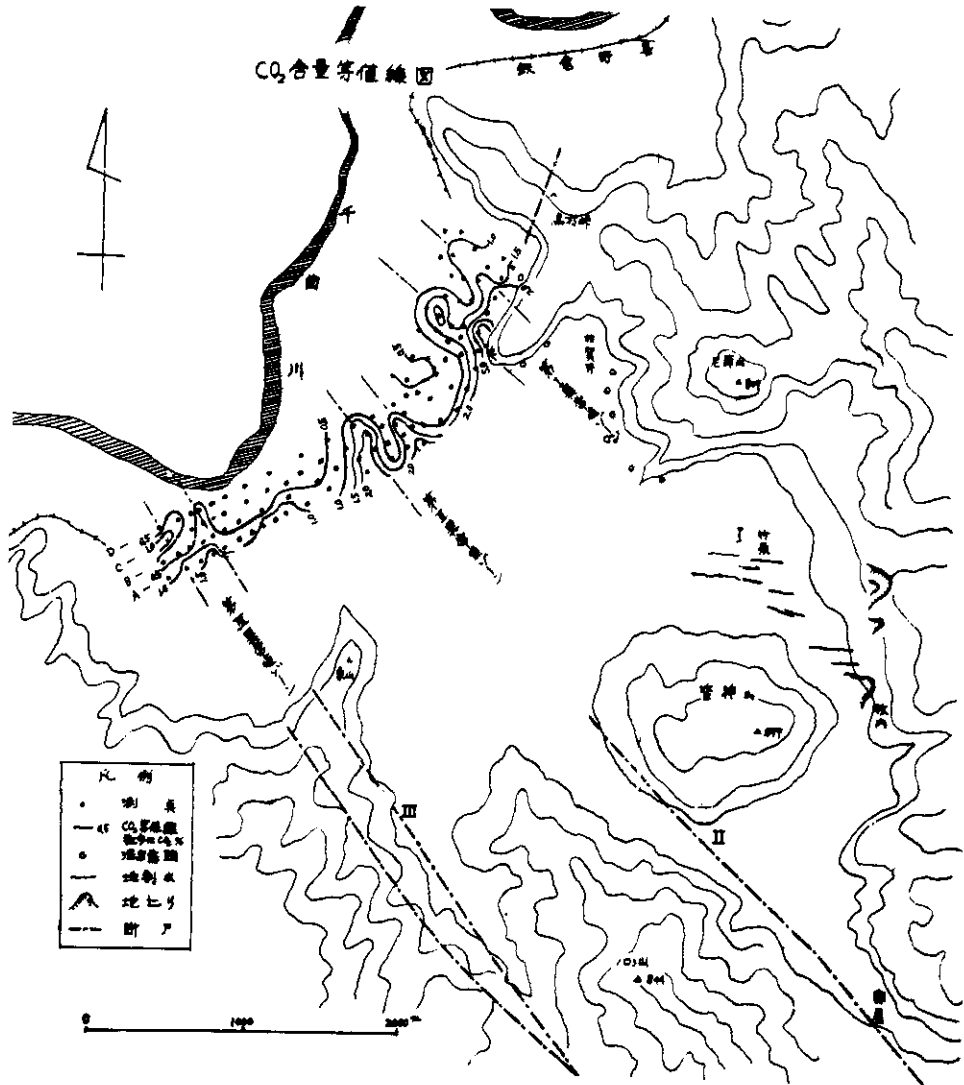


図-8 CO₂含量等値線図
Isopleths of CO₂ contents.

の異常値を示す測点は、地下の断層を地表に反映していることを確かめた。

今回は異常値を示す測点と地下構造との関係を水平的、垂直的分布から検討を行なった。

前回のA測線における異常値を示した測点(N₀12, N₀16, N₀27)について、今回再び同じ測点を設け観測を行なった。その結果、CO₂含量は9ヶ月経過した後も大きく変化しないことが明らかとなった。(表-3参照)。しかしCO₂増加率は大きく減少傾向を示している。その地点にお

るCO₂が平衡に近ずいたためか、またはCO₂の供給量が減少したためなのかその原因は明らかでない。

上述のように、CO₂増加率は減少しているがその測定値は9ヶ月後も変化がなかったため、A測線のDataを今回行なったB~E測線の観測結果に加えて等値線図に表わしこれを図-7に示した。また、これを断層線との関係を図-8にそれぞれ示した。

この図から明らかのように、調査地域内にはI

～Ⅲの異常値 Zone を見出すことができ、これらはいずれも対をなす異常値 Zone からなっており、その範囲は200～400mの幅を持っている。

第Ⅰ異常値 Zone は、東寺尾附近にあって地表では北西—南東方向の小断層が互に併走はしているが顕著な断層は見当らない(沢村⁴⁾)、しかし加賀井地区の温泉群、竹原地区の地割れ地帯、牧内地区の地回り地帯など結ぶ一連の破碎帯の延長上にある。いずれもこれらはCO₂ガスを伴った湧水があることが特徴的である。

また、この地域のA測線における測点はCO₂含量が特に高い値を示しているが、これは西側の鳥打峠にある北東—南西方向の断層線の影響も考えられ、他の測線におけるCO₂含量からもある程度推定される。おそらくこの断層はA測線を平行に走っているものと考えられる。

第Ⅱ、第Ⅲ異常値 Zone は、いずれも地表で確認した断層線の延長方向に位置する。

このようにCO₂含量の等値線図により示される異常値 Zone は、基盤断層を地表に反映したものであり、また、その方向性を表わしている。このことはすでにのべたごとく異常値を示す測点におけるCO₂含量の大部分が地下深所よりの供給であることから明らかである。

また、このCO₂の供給源が地表より深い程、すなわち、基盤断層上の堆積層が厚い程CO₂ガスは分散され地表付近でcatchされるCO₂の量は減少するであろうことは当然考えられるが、この調査結果によくあらわれている。

この調査地域で行なった電気探査の結果では、東寺尾附近(A測線)で沖積層の厚さは100～200mと推定され(小野⁵⁾)、また、この平野部の基盤をなす第三系は北西方向に20～30°の傾斜をもっている(森本²⁾)から、沖積層は南東から北西方向にその割合で厚さを増していることが知られている。そこで、観測域において各異常値 Zone と非異常値域に分けて沖積層の厚さの増大する方向へのCO₂含量の変化を調べその比較を行なった。測線の断面位置は図-7に示し、そのCO₂含量の分布は図-9に示した。

この図から、異常値 Zone の①～③に示した推定断層上のCO₂含量の分布は、いずれも沖積層の厚さの増大につれCO₂含量は分散し減少の傾向が明らかである。また、非異常値域のそれは沖積層の厚さには無関係でCO₂含量の変化はほとんど見

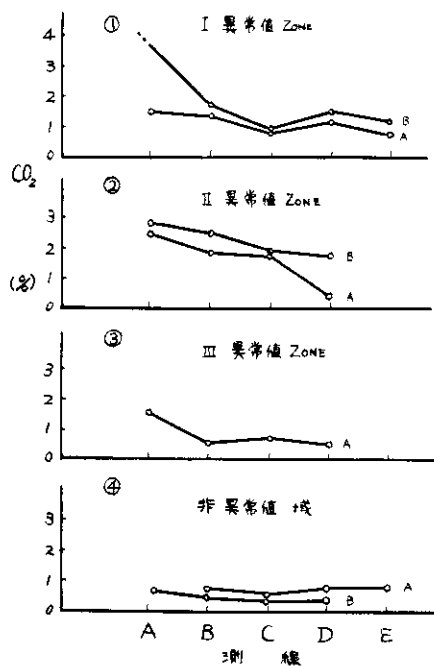


図-9 CO₂含量の断面分布
Sectional distribution of CO₂ contents.

られない、いずれもその地域のBack groundを形成しており、大気と平衡関係にあってその土質と対応した最少値を示しているのかも知れない。

6. 結 言

本調査は松代地震地域の平野部における地下構造を推定する地球化学的な探査法として初めて試みたものであるが、2回に亘る調査研究の結果一応初期の成果をあげることができた。

指示成分としたCO₂は一般に普遍的な成分であるが、調査地域におけるCO₂の平均含量は大気その約10～20倍量を示し、異常値を示す測点の濃度はこれら平均含量のさらに15～20倍の高含量を示した。

したがって地表においてこれらの異常値をcatchすることは比較的容易であり地下の断層を反映しているものであると考えて差支えないように思われる。

なお今回の調査結果を要約すると次のとおりである。

1. 異常値を示す測点のCO₂含量による等値線

図から、第Ⅰ～Ⅲの異常値 Zone を見出し、その方向は北西-南東を示した。これらは地質図から予想される断層および破碎帯の延長方向とよい一致を示している。

2. 異常値を示す測点における CO₂ 含量の垂直的分布に関しては、少なくとも 1～3 m 深度においては、CO₂ 含量の変化を認めることはできなかった。また経日変化の CO₂ 量は増加の傾向を示した。一方同一層における土壌中の有機炭素量は、深度方向に対して減少を示した。

3. 異常値と非異常値の各 Zone に対して、北西方向(沖積層の厚さが増大する方向)の断面における CO₂ 含量の分布は、異常値 Zone ではいずれも沖積層の厚さが増すにしたがって CO₂ 含量は低下し、分散傾向を示していた。非異常値域ではこれらの変化は認められず、その地域の土質に対応した Back ground を示している。

本地域における地化学探査は、地質条件などに恵まれた結果その目的を達することができたが、今後に残された問題点としては、

1) さく孔の機械化、2) 指示成分の数を殖やし、それらを併用することが望ましい、

3) 地下水法の併用、などがあげられる。

これらをさらに検討することにより、この地下構造の地化学探査はより確実性と、実用性を増していくものと思われる。

注) さく井後密栓して、2 日後に採取した試料

参 考 文 献

1. 永田松三・伊藤 司郎(1967): 松代地震域の地化学探査, 防災科学技術総合研究速報, 5.
2. 森本良平他(1966): 松代群発地震とその周辺の地質, 震研彙報, No. 44
3. 大杉繁(1942): 一般土壌学, 朝倉書店
4. 沢村孝之助他(1967): 松代地域域の地質と地質構造, 防災科学技術総合研究速報, 5.
5. 小野吉彦(1967): 松代地域の電気探査, 防災科学技術総合研究速報, 5.