

松代地震地域における地化学探査

永田 松三・伊藤 司郎

地質調査所技術部

Geochemical Investigation of Matsushiro Earthquake Area

By

S. NAGATA and S. ITOH

Geological Survey of Japan, Tokyo

Abstract

The geochemical method widely used for exploration of oil and gas fields has been applied to detect fault zones or fissures in the basement of Matsushiro earthquake area, Nagano Prefecture. The CO₂ contents in soil air at 1.3-m depth were measured by a comparative interferometer. The isolation of soil air from atmospheric air was done by setting a bentonite layer. Field results were compared with the analysis by a gaschromatograph in laboratory, and satisfactory agreement was obtained.

The following correlations were recognized:

1. The CO₂ contents in soil air at anomalous points are several times as high as the average contents of the area.
2. At these anomalous points, the CO₂ contents in soil air show marked increase when measured 2 days after.
3. These anomalous points are located on the fault lines which are conjectured from geologic and gravitational data.
4. No correlation is noticed between organic carbon contents in soil and CO₂ contents.

From these results, it is considered that CO₂ gas is supplied continuously from the basement to the earth's surface, and that the CO₂ produced in soil will not give any harm to the accuracy of measurement of CO₂ in soil air.

目 次

1. 要 旨	30	4.1 土壤空気成分	32
2. 緒 言	30	4.2 試験観測井のCO ₂ 含量	33
3. 測定方法	31	4.3 土壤中の水分と有機炭素量	33
3.1 さく孔法	31	5. 考 察	34
3.2 試験観測井	31	6. 結 語	35
4. 測定結果	32		

1. 要 旨

本調査は松代地震地域における地下構造の地球化学的な探査方法を確立することを主目的とした。

従来ガス鉞床探査に用いられていた土壌空気法による探査方法を適用した。これは地表下約1.3 mのさく孔を行ない、その深度の土壌空気成分、とくにCO₂ガス含量を比較し、地下構造を推定しようとするものである。

今回の調査研究により、測定法およびそれに基づいて行なった試験観測の結果、明らかになったことを要約すると次の諸点である。

- 1) さく井の一定深度における大気とのしゃ断は、半練のペントナイト層を設けることによりその目的を達した。
- 2) CO₂ガスの高含量を示す測点は、その地域の平均含量の2~10倍量を示した。また、その経時変化による増加率も同様に高い。このことから、これらの異常値を示す測点においては深部からCO₂ガスが不断に供給されていることが考えられる。
- 3) CO₂ガスの異常値を示す測点は、予想された断層線上に見いだすことができた。
- 4) 同一深度の土壌中の有機炭素量と土壌空気中のCO₂ガスとの間には有意の関係は認められなかった。このことは土壌中で生産されるかもしれないCO₂ガスが測定値に及ぼす影響を考慮しなくともよいことを示す。

2. 結 言

本地域の群発地震に関する総合的研究の一環として、地下構造と震源との関係を究明するために地球化学的探査法を試みた。

従来、炭化水素鉞床(ガス田、油田)を対象として以前から地化学探査は用いられていたが、わが国においては兼子勝¹⁾、藤原健一²⁾等によって導入され、かつ発展してきたものである。

しかしガス鉞床以外の地域にこの方法を適用しようとしたのは筆者らが初めての試みである。この地域に地化学探査を実施するについて、既存の資料を参考にした。

1. 松代町地域と地質的に関連性のある長野県小諸市、群馬県磯部町周辺の天然ガス調査を本島公司^{3),4)}等が行なった結果、この地域のガスは火山性のCO₂ガスが主体となっていることを明らかにしている。
2. 松代町北部の加賀井温泉はCO₂ガスを多量

に含有している。⁵⁾

などからこの地域の地質条件を考慮し、CO₂ガスを指示成分として、地下構造を推定することが適当であると考えた。しかしこのCO₂ガスの大部分が地下の深部から断層あるいは弱線を通じて地表下に逸散することが条件となってくる。

このような想定の下に、CO₂ガスの移動を模式的に図に示した。(図-1参照)

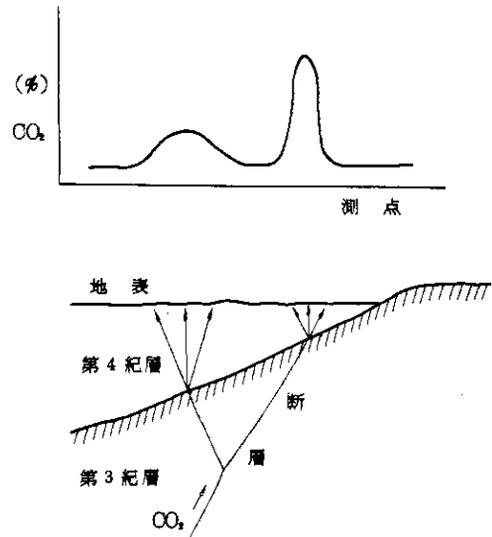


図-1 地下構造とCO₂ガス測定値の異常点との関係を示す模式図

Schematic pattern showing the relation between underground structure and CO₂-gas anomaly.

CO₂ガスは一般に普遍的なもので、腐食土壌で生産され測定値に関与することが考えられる。また、CO₂ガスの逸散過程において地下水に溶解し、その結果断層などの地下の異常が地表に反映することをあいまいにすることも考えられる。

このような根本的な問題が未解決のまま残されており、理論的あるいは実験的に今後解決してゆかねばならない。

本報告においては、この問題に関して既存のデータおよび本調査の観測データから若干の考察を試みた。今回の調査研究の期間は昭和41年6月20日~6月30日の11日間であった。

本研究を行なうにあたり、種々の助言をいただいた本島公司地球化学課長に厚く感謝いたします。

3. 測定方法

地下構造の地化学探査法には、土壤空気法と地下水法の2種類あるが、次の理由から土壤空気法を採用した。

1. 松代町付近は扇状地帯であり、浸透率が大きい水位が低いことが考えられた。
2. 地下水法は2~3 m深度のさく井を必要とするが土壤空気法は1~2 m深度で探査が可能である。このことは時間的、労力的に数倍の差に相当する。
3. CO₂ガスの測定は土壤空気法がより簡便に測定できる。

3.1 さく孔法

土壤空気法を実施するにあたって、この地域は扇状地帯を呈するために湿地帯、砂地帯および礫質地帯など地質条件の異なる地層が分布し、これがため土質によるさく孔の難易および地下水の影響などを検討し、土壤空気を自然の条件の下に採取するよう努めた。

さく井は径5 cm のハンドオーガーを用い、約

1.3 mの孔を掘り、孔底より30 cm 上部までを空気ため(約600 cc)とし、これより土壤空気採取するために径14 mm の硬質ビニール管を導管として用い、空気のための部分は孔明管にした。

大気とのしゃ断は半練のベントナイト層を中間に(約10 cm) 設けてこの目的を達した(図-2 参照)。

このさく井を行なうと同時に、導管から二口注射器で静かにガス抜きを行ない(約1,000 cc)、さく孔時の大気を抜き出した後、密栓して放置し、2日後空気のためにたまる土壤空気を採取し直ちにメタン干渉計でCO₂%を測定した。

この土壤空気は実験室においてガスクロマトグラフによりO₂、N₂、CH₄、CO₂の組成分析を行なった。

また土壤空気中のCO₂ガスと土壌中の有機物の関係を知るため、土壌試料を採取し有機炭素および水分の定量を行なった。

3.2 試験観測井

土壤空気法による地化学探査法の可能性がほぼ明らかとなり初期の目的を達成することができたので、この測定法にもとづいて、あらかじめ重力探査の結果を参照し、その結果より推定される予想断層線に斜交する試験観測の測線を松代町北西の平野部官村—東寺尾間に設けた(図-3 参照)観測した測点数は34点、これの土壤空気の組成と土壌の有機炭素の定量を行なった。

測点間隔は約50~200 mとし、予想断層線上で

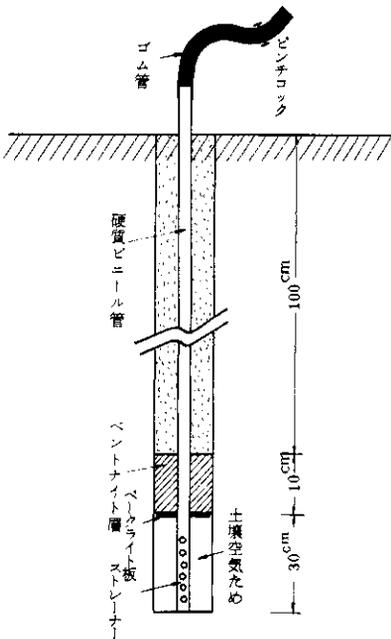


図-2 サク孔断面図
Profile of boring hole.

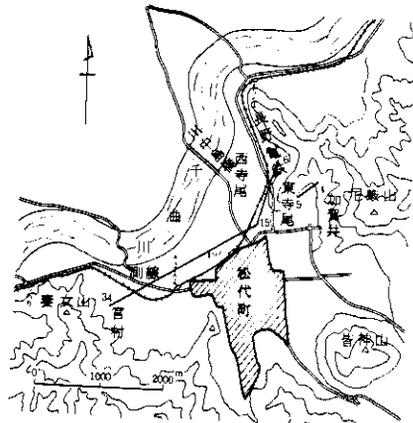


図-3 測線位置図
Sampling route.

はその間隔を狭くしてCO₂ガスの濃度分布を明確にするようにした。

4. 測定結果

4.1 土壤空気成分

観測井の土壤空気は、さく井後密栓し2日後に二口注射器にて採取した。これを実験室において

ガスクロマトグラフを用いて分析を行なった。

その分析結果について地域別に主な分析例を表-1に示した。

この表から、N₂ %についてはCO₂ %に関係なく大気成分の濃度と大差ないこと、O₂ %はCO₂ %の増加に応じて減少を示す傾向にあることなどが

表-1 土壤空気の組成 (vol. %) Components of soil air. (vol. %)

Loc. No.	土質	O ₂	N ₂	CO ₂	Loc. No.	土質	O ₂	N ₂	CO ₂
5	褐色粘土質	18.51	79.43	2.06	21	砂質粘土	20.39	78.78	1.25
9	黒褐色粘土質	17.85	79.77	2.38	23	"	19.23	79.65	1.12
10	"	16.32	80.30	3.38	25	"	19.54	79.64	0.82
11	"	8.13	69.77	22.10	26	"	20.16	78.99	0.86
12	"	16.18	79.67	4.15	27	"	18.74	79.66	1.60
15	"	18.12	79.82	2.06	28	"	18.83	79.86	1.31
16	"	16.57	79.95	3.48	29	"	17.89	80.79	1.32
19	"	20.03	79.41	0.56	30	"	20.05	79.33	0.62

分析はガスクロマトグラフィーによる。

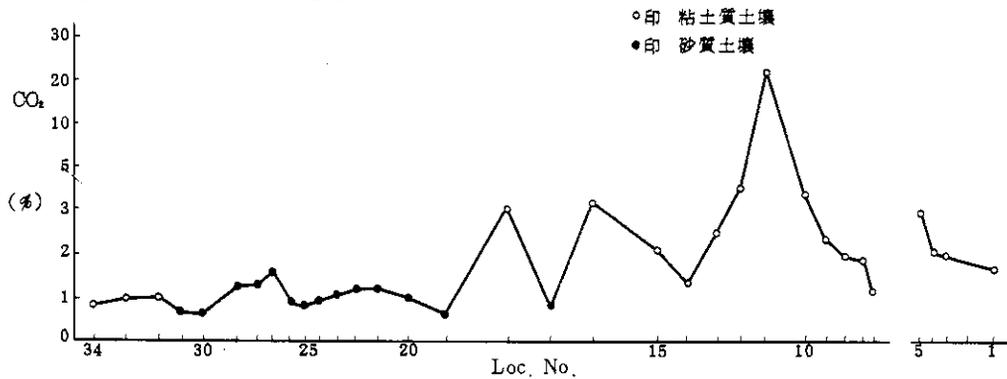


図-4 各測点における土壤空気中のCO₂の含量 CO₂ contents in soil air at sampling points.

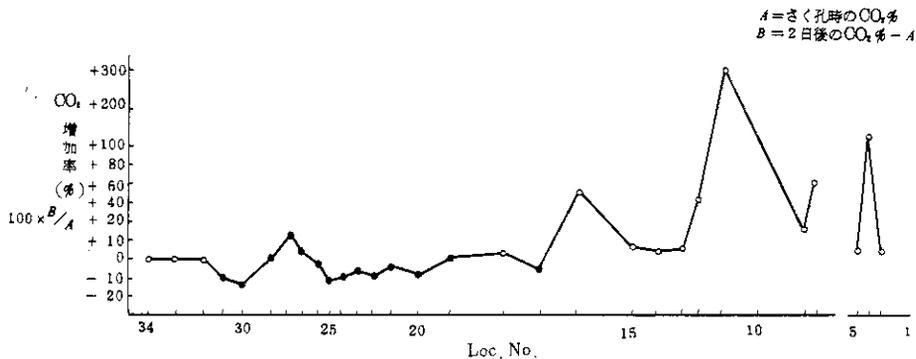


図-5 各測点におけるCO₂含量の経時変化による増加率 Increasing ratio of CO₂ contents by time change at sampling points.

認められる。すなわち、土壤空气中にCO₂が供給されると、初生的な土壤空気を希釈しながらO₂と交換するので、CO₂はO₂と逆の相関を示すのでありと考えられる。また、CH₄%は例外なく0.01%以下を示している。

4.2 試験観測井のCO₂含量

試験観測を行なったさく井について、測定に使用したメタン干渉計と実験室において行なった、ガスクロマトグラフィーの結果は比較的よい一致を示した。ただしCO₂が4%以上になると干渉計の測定値がやや低くなる傾向にあつた。

さく孔時から2日後に採取した土壤空気ちゅうりの各測点間隔におけるCO₂含量の分布を図-4に示した。

この図から明らかなように、CO₂の異常値を除いた平均含量は砂質土壤において0.5~1.0%、粘土質土壤は1.5~2.5%を示し粘土質に若干多くなっている。

CO₂の平均含量が異なるのは、その土壤の持つ化学的、物理的性質に大きく支配されるものと考えられる。

測線中の異常値を示す測点は、Loc. No. 4, No. 11~13, No. 16~18, No. 27~29であつてこれらはその地域のCO₂平均含量の2~10倍量を示している。

図-4のCO₂含量の分布図から各測点における異常値を確かめることができたが、さらに、これらの異常を示す測点と他の測点のCO₂含量の経時変化による増加率を求め、それによってCO₂ガスの供給される速度を求めた(図-5参照)。

この図から明らかなように、CO₂含量の異常を示す測点とこの経時変化による増加率の大きな測点と、大略一致した結果を示していることは注目される。すなわちこのCO₂ガスの増加率の大きな測点は、他の測点に比べてその供給が不断に地下から行なわれていたことを示している。

またこの増加率が減少を示している地域(Loc. No. 18~31)は、土壤の気孔性が大きく、大気と交換によりCO₂が希釈されて、小さい値を示したものであろう。また同じ土質で異常値の測点(Loc. No. 27, 28)はそれより増加傾向を示し、CO₂の供給を明らかにしている。

4.3 土壤中の水分と有機炭素量

さく井時における土壤空気の採取層と同一の土

* 有機炭素の定量はTYULIN法によつた。

壤を採取し、それについて有機炭素と水分の定量を行なった。

土壤の乾燥試料について有機炭素*の定量を行なった結果、砂質土壤において0.11~0.33重量%、粘土質土壤は0.22~0.52%を示し、土壤の性質によりその含量のバックグランドが異なることが明らかとなった。

この土壤中の有機炭素量とこれに対応する土壤空气中のCO₂量の関係図(図-6参照)から明らかになったことは、通常測点におけるCO₂含量と有機炭素量はそれぞれの平均含量の範囲に入るが、異常値を示す測点はそれに無関係にCO₂の高含量を示していることである。

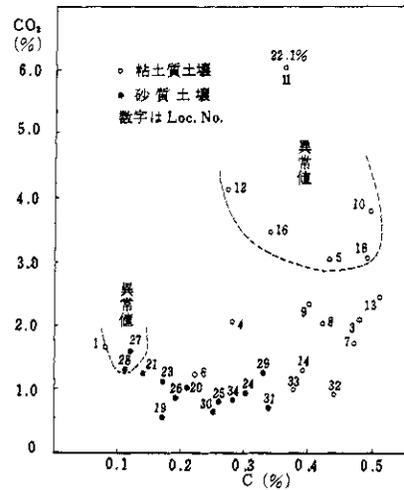


図-6 土壤中の有機炭素量(C%)とCO₂との関係図

Relation between organic carbon (C%) and CO₂ in soil.

この結果から、有機物から生成されるCO₂量が、測定値に与える影響は無視できることがわかった。土壤中の水分量(含水率)について測定した結果、砂質土壤は14~16%、粘土質土壤は17~32%を示し有機炭素量と同様に砂質に少ない傾向を示した。

土壤空气中のCO₂量と含水率との関係を明らかにした(図-7参照)。

この関係図から、土壤中の含水率とCO₂量は負の相関関係にあり、CO₂量は砂質、粘土質それぞれ

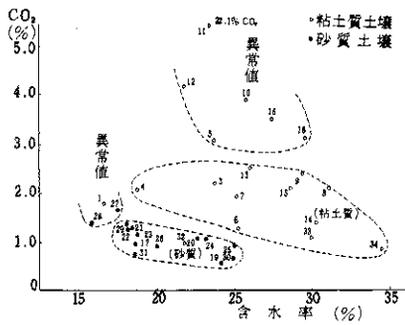


図-7 土壌の含水率とCO₂量との関係図

Relation between water contents in soil and CO₂ contents in soil air.

れ含水率の低い方に多くなる傾向にある。これは土壌の性質により水分の飽和度による相異である。砂質は約30%、粘土質は約50%と報告されている。⁵⁾

この土壌の水分が満たす空けき（気孔性）の大小によって土壌空気の占める割合が異なってくる。したがって、地域によるCO₂平均含量が相異なるのは、土壌の性質あるいは空けき率の大小によるものであろう。

5. 考察

本地域で地下構造の地化学探査を実施するについて、CO₂ガスを指示成分として選んだが、この際、冒頭にのべたように、地下からのCO₂ガスの移動を想定した模式図を示した。

この条件を満たして初めてこの探査法が可能となる。

この松代地区の加賀井温泉のボーリングから、その地層の大部分は珪質あるいは石灰質凝灰岩からなり、その亀裂を通じて多量のCO₂ガスを伴って温泉が湧出している。

この湧出ガスの組成を表-2に示した。

表-2 加賀井地区温泉ガス組成表 (vol. %)
Components of hot-spring gas of Kagai district. (vol. %)

温泉名	深度m	He	O ₂	N ₂	CO ₂	CH ₄	備考
一陽館旧号井	90	0.002	0.24	12.09	87.67	tr.	*
松代町々管新1号井	500	0.002	0.14	5.82	94.04	tr.	*
" 2号井		0.006	0.27	12.10	87.42	0.24	

*印 化学課 前田技官採取

この表から明らかなように、多量に湧出するガスの大部分はCO₂ガスであり、とくに火成岩と密接な関係にあるHe ガスを含んでいることから火山性のガスとして注目される。

このようにCO₂系ガスの湧出する機構とその組成から、この地域を含めて浅間山の周辺部に後火山作用に起因するCO₂ガスのベルトが考えられている。このことから本地域の地下構造を推定する地化学探査に指示成分としてCO₂ガスを選んだわけである。

土壌空気法によつたこの探査法を実施するに一番懸念されたことは、まず腐食土からのCO₂ガスの生産によるその測定値に与える影響である。この問題については、藤原健一らの報告によると、表土の影響は除外しうることが示されている。しかし地域によりそれらは相違するであろうからわれわれはこの検討を行なった。

図-6に示したように、有機物から生産されう

るCO₂量はこの地域のその平均含量以下である。これらの関係からCO₂含量の異常値を示す測点には地表の有機物の影響を考えなくともよい。

次にCO₂ガスと地下水との関連について述べると、この地域の第四紀層の基盤を流れているであろう伏流水が基盤の弱線から放出されるCO₂ガスを溶解し、基盤の異常を地表に反映するCO₂の濃度を乱すことが予想される。この問題については、本島公司の群馬県磯部天然ガスでの経験的考察によると、遊離ガス中のCO₂%と地下水中の free CO₂との間に正の相関関係が見られ、しかも、地下水中の free CO₂の異常値点は断層直上にあり、Cl⁻, HCO₃⁻の異常点はその下流に広がっていることが明らかにされている。この結果から推察すると、地下からのCO₂ガスが連続的に供給されていれば、そのCO₂は地下水流を軽く突破して地下の異常点を地上に反映しているように思われる。

われわれの行なった試験観測の、異常値を示し

た測点は土壤空気法によつたものであるが、地下水の流量などによってどのような影響をおよぼしたか不明である。今後地下水法など併用し検討しゆかねばならない。

これらのいろいろな問題点をかかえた今回の地化学探査は、土壤空気中のCO₂含量による異常値を示した測点と、CO₂量の経時変化による増加率の大きい異常値を示した測点は一致を示し、大略地下の構造を反映したものであるといえる。とくにCO₂ガスの供給速度を表わしたその増加率と、CO₂ガスの含量を併行して測定し同一の異常点を示した測点は、地下の深部から断層などを通じてCO₂ガスの供給された測点であつて、他の因子からの影響は無視して良いことがわかつた。

このことは地質図あるいは重力探査図から予想された断層線上に異常点を見いだしたことからいえる。

6. 結 語

今回の調査研究においては、地下の構造を推定しようとして地化学探査を試みた。調査日数の関係から調査方法の確立に主目的をおいた。

観測したさく井の空気ためと大気とのシャ断による土壤空気の採取あるいは観測方法などについて一応初期の目的を達した。

指示成分としてCO₂を選んで行なつた地化学探査の結果、明らかになつたことを要約すると次のとおりである。

1. 土壤中の有機物からの測定値に与える影響は無視できる。
2. CO₂含量の異常値を示す測点は、経時変化によるその増加率も大である。
3. 測点中の異常点は、地下の深部から断層にCO₂の供給が考えられる。

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いだすことができた。

以上が今回の調査研究で明らかになつたことであるが、今後この探査法を發展させてゆくにはまだ多くの問題点が残されている。おもなものを列記すると次のことがらである。

1. 観測井の1~3 m深度によるCO₂量およびその経時変化の増加率について鉛直分布の測定。
2. CO₂ガスと地下水との関連性。
3. 観測井の測線を5~6本平行して設け、異常点などの方向性。

これらの問題点を今後理論と実験の両面から更に掘り下げて研究することによって、今後の地下構造の地化学探査が發展し、可能となるであろう。

参 考 文 献

1. 兼子勝・阿部道起(1942)：千葉県茂原町における微量ガス分析計による地化学的探鉱法の調査試験について。石油技協誌, Vol. 10, No. 1.
2. 藤原健一・下河原達哉(1948)：ガス鉱床に対する地化学探査の新方法。石油技協誌, Vol. 14, No. 4.
3. 本島公司ら(1955)：長野県小諸附近の天然ガス。石油技協誌, Vol. 20, No. 3.
4. 本島公司(1957)：群馬県磯部町附近地化学調査報告。地質調査所月報, Vol. 8, No. 1.
5. 地質調査所(1957)：日本鉱産誌, VI a, 水および地熱。
6. 大杉繁(1942)：一般土壤学, 朝倉書店。