



神奈川県
安全防災局

神奈川県温泉地学研究所

平成 26 年度

研究成果発表会講演要旨集

日時 平成 26 年 6 月 20 日(金) 13 時 00 分から

場所 小田原市民会館 本館 3 階小ホール

口頭発表

1. 神奈川県及びその周辺地域における 2013（平成 25）年の地震活動	1
2. 地震波データから探る箱根火山の地下構造	3
3. 噴気ガスの組成変化から箱根火山の活動を予測できるか	5
4. 掘削によって明らかになった鎌倉・逗子の平野発達史	7
5. 足柄平野自噴井の湧出機構と保全について	9
6. 神奈川県における温泉付随メタンガスの状況と成因について	11

ポスター展示

1. 箱根火山で発生した群発地震活動の特徴とその分類	13
2. GPS データによる伊豆衝突帯北東縁の地殻変動	14
3. 富士川河口断層帯～糸魚川-静岡構造線横断地下構造探査（2012FIST）報告： 沼久保断層ならびに大宮断層による撓曲構造	15
4. 三浦市における関東地震の隆起量に関する地形地質研究	16
5. 箱根温泉の泉質	17

神奈川県及びその周辺地域における 2013（平成 25）年の地震活動

○本多 亮、行竹洋平、原田昌武、代田 寧、板寺一洋、道家涼介

1. はじめに

温泉地学研究所（以下、当所）では、主として神奈川県西部地域に展開している当所独自の地震観測網のデータに加え、気象庁や大学などと相互にデータを提供しあうことで、神奈川県周辺の地震活動について監視・解析を行っています。本報告では、これらのデータをもとに、2013 年 1 月～12 月までの神奈川県及びその周辺地域の地震活動の概要と、箱根火山で発生した群発地震活動について報告します。

2. 県内および周辺の地震活動

図 1 に当所が震源決定した地震の分布を示します。箱根と丹沢地域で地震の活動度が高いのがわかります。当所の監視対象地域内（図 1）で 2013 年に発生した地震のうち最大のものは、7 月 17 日に丹沢地域の深さ 21.7km で発生した M4.2（温地研による）の地震でした（図 1）。この地震では、県内で最大震度 3 を記録しました。監視対象地域内で発生した地震のうち震度 1 以上を観測したものは 14 個でした。一方、神奈川県から 500～1000km も離れたオホーツク海や鳥島付近で発生した地震でも、県内で震度 1 以上を観測しました。これらは、地震波が固い岩盤（太平洋プレート）内をあまり減衰しないまま伝わってくるときにおこる、異常震域という現象です。

次に、県西部地域（足柄平野・丹沢地域）の地震活動度を、気象庁の一元化震源のデータから見てみます（図 2）。年ごとに増減はありますが、1990 年代に比較して、2000 年代にはいつ頃から県西部地域では地震数が増加していることがわかります。2013 年は前年に比べると地震数は少なめでしたが、それでも引き続き地震活動は活発であると考えられます（90 年代と現在では地震の検知能力が異なりますが、その影響をなるべく小さくするため M2 以上の地震のみを取り出し、大きな地震が発生したときの余震の影響も取り除いてあります。）

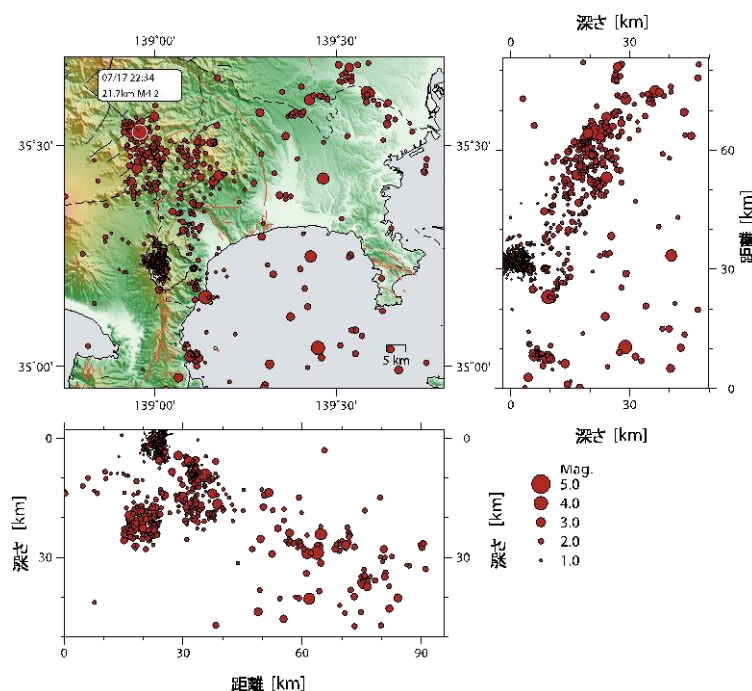


図 1：震源分布図（温地研）

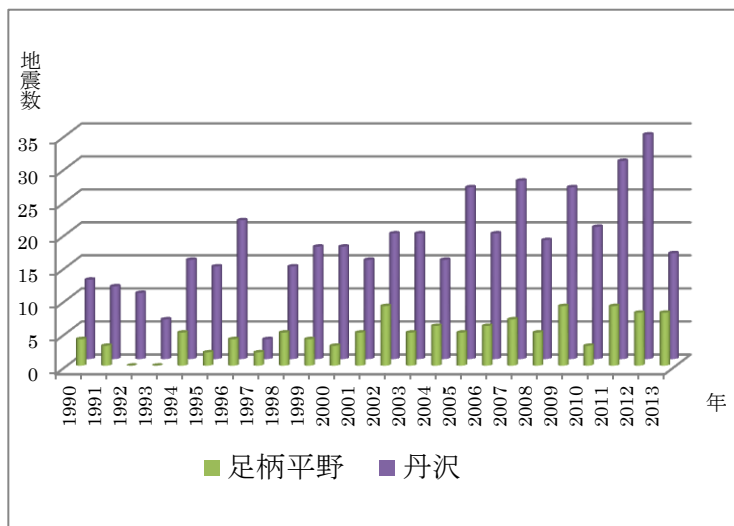


図 2：気象庁一元化震源で見た年ごとの地震数の変化

3. 箱根の群発地震

箱根火山ではたびたび群発地震活動が発生します。2013 年は当所の基準で群発地震と認められた活動が 8 回ありました。そのうち最も大きかったのは、1 月 17 日から 2 月 19 日にかけての活動で、活発な地震活動のほか山体膨張を示す地殻変動が観測され、活動後期には大涌谷や湖尻付近で有感となるような、M2 クラスの地震が頻発しました（図 3）。当所が独自に観測した計測震度相当値は、最大で震度 3 相当でした（表 1）。

謝辞

温泉地学研究所の震源決定には、一元化協定に基づき、東京大学地震研究所・独立行政法人防災科学技術研究所および気象庁の波形データを使用しております。また、一元化震源のデータは気象庁データベースより取得して使用させていただきました。記して感謝いたします。

参考文献

板寺一洋・代田寧・本多亮・原田昌武・行竹洋平・道家涼介・宮岡一樹・萬年一剛（2013）2013 年 1～2 月の箱根火山群発地震活動について（概報），温地研報告，45，17-28.

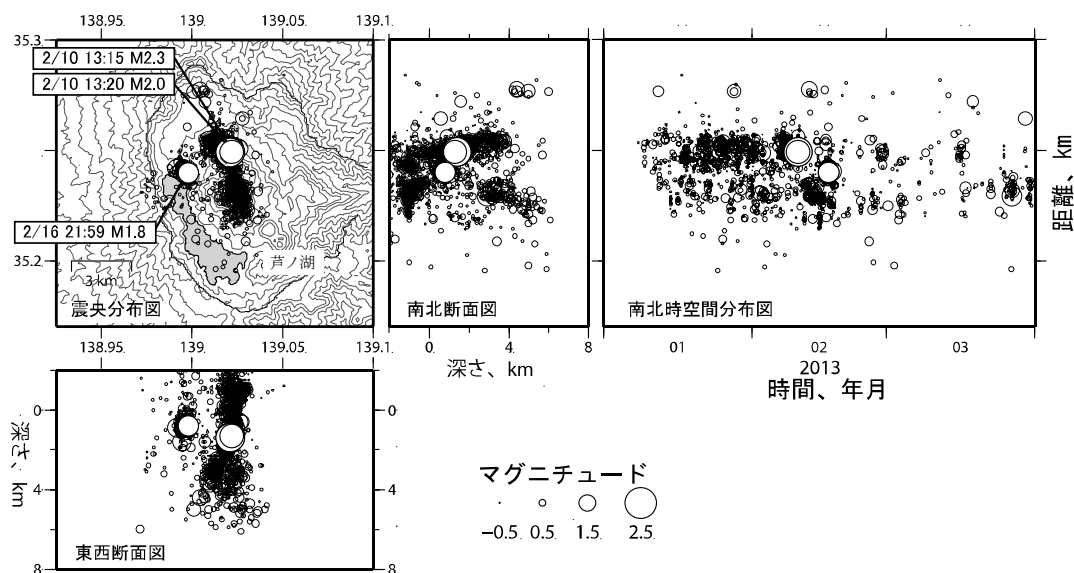


図 3：箱根の群発地震活動の震源分布（2013 年 1 月 1 日～3 月 31 日）（板寺ほか、2013）

表 1：群発地震期間中に震度相当値 1 以上を計測した地震

日付	時間	マグニチュード	震度相当値		
			大涌谷	二ノ平	仙石原
1月28日	6時12分	1.4	2	-	-
2月 2日	15時03分	1.3	1	1	-
2月10日	13時15分	2.3	3	3	2
2月10日	13時21分	2.0	2	3	1
2月10日	13時34分	1.5	1	2	1
2月10日	15時47分	1.4	1	2	-
2月16日	21時12分	1.4	1	1	-
2月16日	21時23分	1.7	1	1	-
2月16日	21時48分	1.6	1	1	-
2月16日	21時55分	1.4	-	1	-
2月16日	22時07分	1.4	-	1	-
2月28日	6時15分	1.1	-	1	-

地震波データから探る箱根火山の地下構造

○行竹洋平

1. 箱根火山のマグマだまりはどこにあるのか？

箱根火山は伊豆半島北端に位置する活火山で、現在でも大涌谷や湯の花沢で活発な噴気活動があります。箱根カルデラ内ではこれまでたびたび活発な群発地震活動も発生し、それにともない箱根の山全体が膨張する地殻変動が観測される場合があります。これらの現象は箱根が活動的な火山であることの証であり、一方で火山から私たちは温泉など多くの恵みを受けています。

箱根火山の活動は、地下にあるマグマが原動力となっていると考えられます。強羅や大涌谷ではマグマ由来の高温の温泉や火山ガスが観測されています。さらに、最近の研究により、カルデラの浅い場所で発生する群発地震について、マグマから発生した高压の水やガスがその発生に深く関係していることが示されました。しかし、マグマ溜りや熱水はどこにどのように分布しているのでしょうか？実はそのことについては、まだ答えが出ていません。この研究では、地震波データから箱根の地下の構造を調べて、マグマ溜りや熱水の場所を特定しました。

2. 地震の波を使って地下の構造を視覚化する

近年、医療分野ではX線CTスキャンという技術が開発され、手術しなくても体内部の様子が分かるようになりました。この研究では、X線CTスキャンの原理を地震学に応用した「地震波トモグラフィー」という方法を用いました。CTスキャンは人体に様々な方向からX線を照射しその吸収率の分布を求めることにより体の中の構造を視覚化（イメージング）します。地震波トモグラフィー法ではX線の代わりに地震が発生した時に生じる地震波を使います。地表に設置された地震計で地下内部を伝搬してきた地震波を観測し、地震波の伝わる速さを3次元的にイメージングします。

地震波は媒質の性質により伝わる速度が変わります。例えば、基盤岩のような硬い岩石だと地震波は早く伝わり、マグマや水などが存在する場所では地震波は遅く伝わります。こうした性質を利用することにより、地震波速度の3次元分布から地下内部の構造について様々な情報を得ることが出来ます。しかし、自然地震は起きる場所が限られており、また地震計は地表の限られた場所にしか設置されていないので、CTスキャンのように対象全体を高い解像度でイメージングすることはできません。そこで、できるだけ解像度よく地下の構造を得るため、この研究ではポータブル地震計を箱根から丹沢の領域にかけてたくさん設置することをを行いました。

3. 地震波から見えてきた箱根のマグマ

3次元速度構造を求めた結果、箱根火山の下約10km付近に地震波の横波（S波）の伝わる速度が顕著に遅い領域が存在することが分かりました（図1）。この場所は、箱根に山体膨張をもたらす変動源の位置とも一致しており、マグマ溜りを反映していると考えられます。金時山の地下深さ20km付近で起きる低周波地震（通常よりゆっくりとした波を出す地震）は、この領域の下部で発生しています。一方、地震が起きる深さ6km付近ではS波だけではなく、地震波の縦波（P波）の伝わる速度が遅い場所があります。理論的な研究から、岩石中の割れ目のなかに水やガスが存在する領域では、P波もS波も伝わる速度が遅くなることが示されています。従って、この深さではより深部の深さ10km付近にあるマグマ溜り由来の高温の水やガスが豊富に存在している場所だと考えられます。この結果から、水やガスが地下の割れ目のなかを移動するときに群発地震が誘発され、その一部が地下水と混ざって高温の温泉として地表に湧出してくるというモデルが提案できます。（図2）

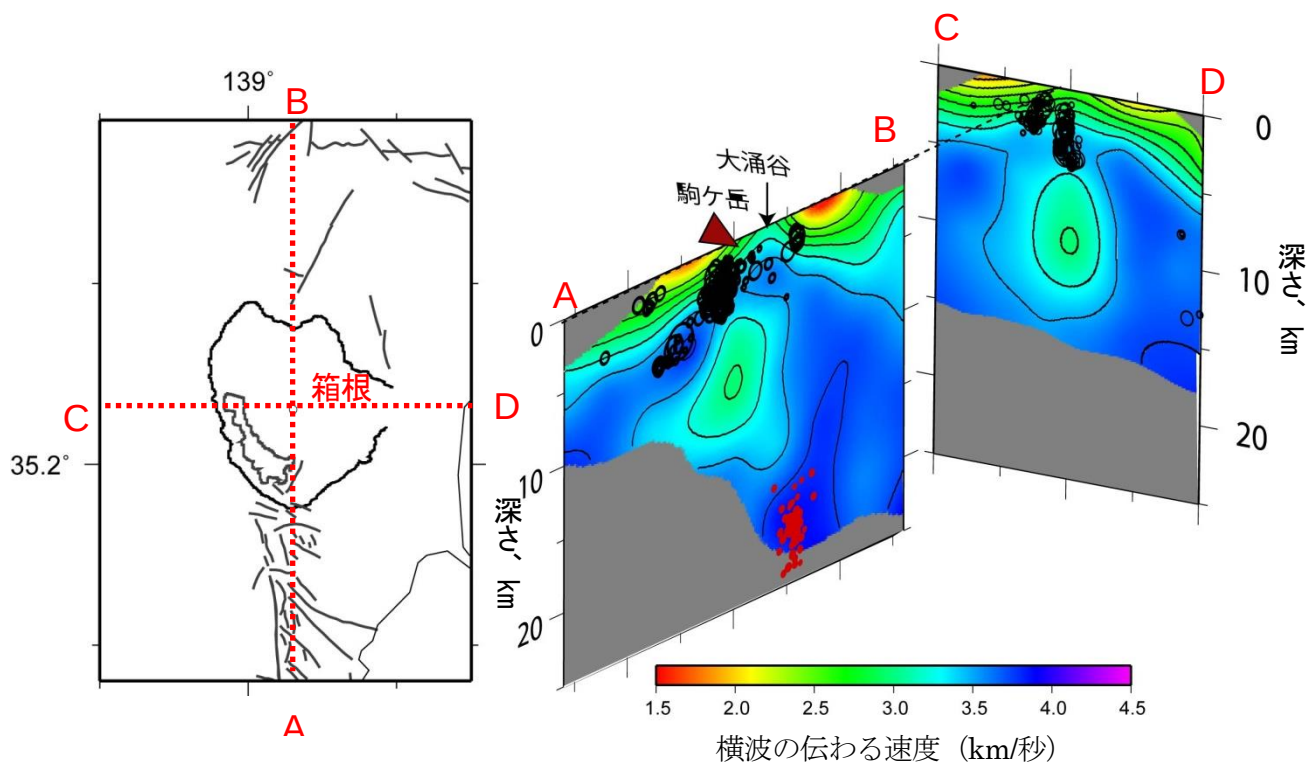


図 1 箱根火山を南北 (A-B) と東西 (C-D) に輪切りにしたときの地震波速度 (S 波) の断面図。黒丸は群発地震の震源、赤丸は低周波地震の震源位置を示す。寒色系は地震波が速く、暖色系は地震波が遅く伝わる領域を表す。

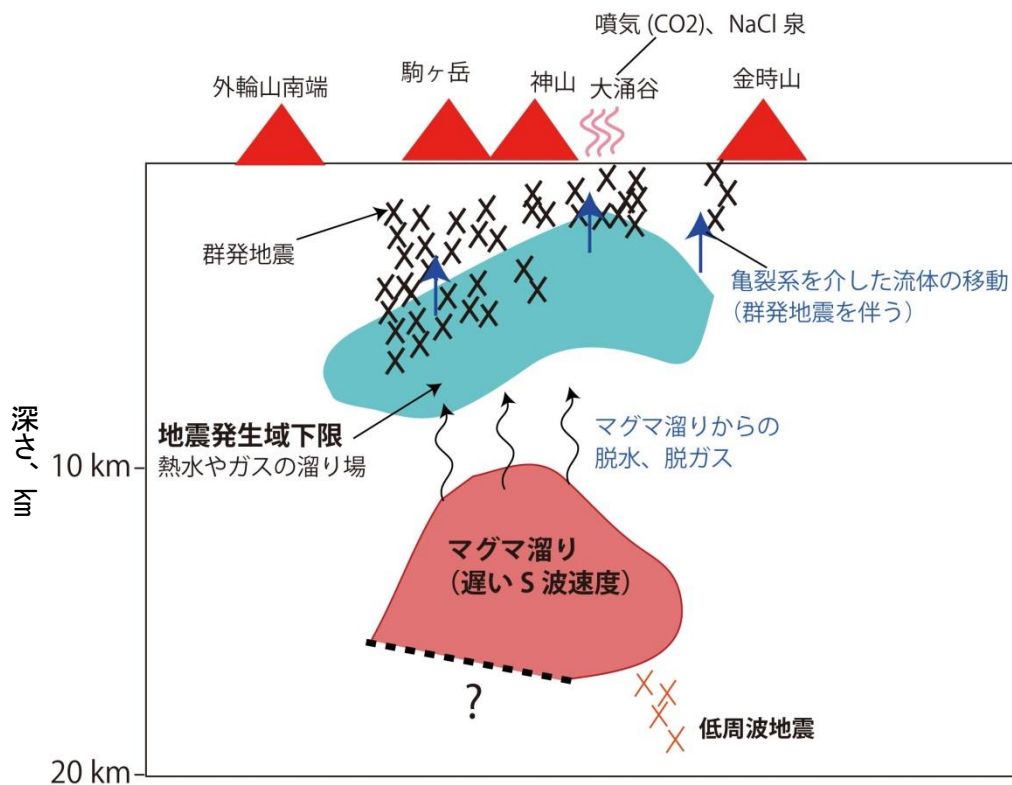


図 2 推定された地震波速度分布に基づいた箱根火山の地震、火山、地熱活動の概観モデル。

謝辞：この研究は文部科学省受託研究「神縄・国府津松田断層プロジェクト」により取得された地震データを使用しました。

噴気ガスの組成変化から箱根火山の活動を予測できるか

○代田 寧¹、大場 武²、板寺一洋¹ (1 温泉地学研究所、2 東海大学)

1. はじめに

これまで当所では、群発地震が発生するなどの箱根火山の活動が活発化した際に、その活動に関連して大涌谷周辺の噴気ガスの組成が変化する可能性を指摘してきました（大場ほか、2008；代田・板寺、2010）。しかしながら、測定頻度が低いために詳細な関係は明らかではありませんでした。

今回、昨年（2013 年）の 1 月中旬頃から活発な群発地震活動が発生したことに伴い、測定頻度を 10 日に 1 回程度に高めて噴気ガスの調査をおこなった結果、火山活動と噴気ガス組成の関連性がより明瞭になったので報告します。なお、本発表は、代田(2013)で報告した内容を中心として、その後に継続調査した結果や考察を加えたものです。

2. 噴気ガスの採取・分析方法

調査をおこなった噴気孔の位置を図 1 に示しました。本噴気孔は大涌谷の北側に位置し、近年、特に噴気活動が活発になっている領域内にあります。この噴気孔にチタン製のパイプを挿入し、二口注射器で吸引して噴気ガスを採取しました（写真 1）。チタン製パイプと二口注射器の間には、氷水で冷却した捕集ビンが取り付けられており、噴気ガスは、水分が除去された後、二口注射器内に導入されます。この水分除去後のガスについて、硫化水素、二酸化硫黄、二酸化炭素、酸素の濃度を検知管で測定しました。酸素は、空気混入の影響を補正するために測定しています。各測定日において、噴気ガスの採取・測定を複数回実施し、それらのうち酸素濃度が最も少ない結果を、最も空気の混入が少ないものとして、その日の観測値としました。

3. 2013 年 1 月から発生した群発地震活動の概要

箱根火山において 2013（平成 25）年 1 月から発生した群発地震活動については、板寺ほか（2013）にまとめられています。ここでは、噴気ガス組成の変化と地震活動との関連性にポイントをおいて、地震活動の推移を時系列で整理しておきます。

- ・2012 年 12 月の時点では、地震数は 1 日あたり平均 1 回程度であり、定常的な状態でした。
- ・2013 年 1 月 11 日頃から地震数が増加し、17 日から多発しました。
- ・それ以降は非常に地震数の多い状態が続き、2 月 10 日には今回の活動で最大規模の M2.3 の地震が発生しました。
- ・2 月 18 日以降は地震数が減少し、その後 4 月 12 日と 16 日に一時的に地震数が増加しました。

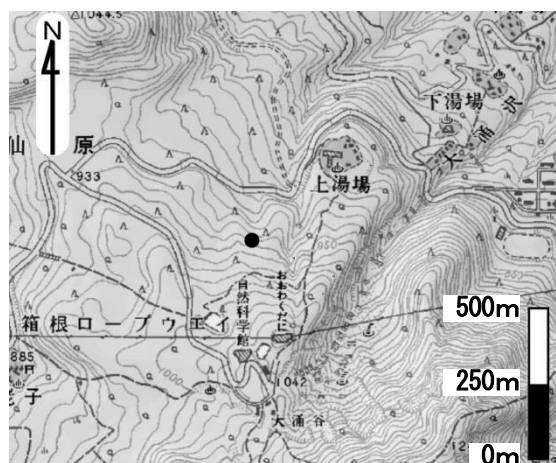


図 1 噴気孔の位置(図中ほぼ中央の●印)



写真 1 噴気ガス採取の様子

4. 結果および考察

観測の結果、二酸化硫黄については検出限界（0.5ppm）以下でした。二酸化硫黄は水に溶解しやすいため、火山ガスが上昇する過程で容易に除去されてしまうと考えられます。図2に、二酸化炭素と硫化水素の比（C/S 比）の時間変化を示しました。これまでの成果から、大涌谷の噴気ガス中のC/S比については、定常時は低下傾向を示し、群発地震の発生（火山活動の活発化）に関連して増加し、活動が収まるとまた低下傾向に転じるといった変化が確認されています（大場ほか、2008；代田・板寺、2010）。

図2より、群発地震が発生する前の2012年12月まではC/S比が低下しており、定常時の傾向を示していますが、群発地震が発生した2013年1月からは増加に転じ、活動が低調になった2月下旬からはまた低下傾向に戻っています。このような変化は、これまでの報告と同様であり、噴気ガスの組成が火山活動の消長に応じて変化することがより明瞭となりました。また、詳細に時間変化をみると、地震数が顕著に増加し始めた1月11日より数日前に、噴気ガスの組成に変化が生じていた可能性が見出されました。さらに、2月下旬以降低下傾向であったC/S比が、4月11日の観測で再び増加し、翌12日に一時的な地震数の増加が観測されました。4月11日の直前の観測が3月26日であるため、いつからC/S比が増加傾向に転じたか特定することはできませんが、少なくとも1日程度は地震活動の活発化に先行して噴気ガス組成に変化が生じた可能性があります。その後、C/S比は低下傾向に転じ、地震活動もやはり低調となりました。

以上のように、噴気ガス組成（C/S比）が、地震活動の活発化とともに増加し、活動低下とともに減少する変化を確認することができました。さらに、今回、群発地震発生後から測定頻度を高め、時間分解能の高いデータが得られたことから、群発地震の発生に先行してC/S比の増加が生じる可能性も見出されました。火山活動の消長に応じてガス組成が変化するということは、今後、活動が活発化するのか、それとも終息に向かうのかを判断する有力なデータとなりうることを意味しており、今回の観測結果は、箱根火山における火山活動の予測において、噴気ガス組成の連続観測が一つの有効な手段になりうることを示していると考えています。

参考文献

- 代田 寧 (2013) 箱根火山において2013年1月から発生した群発地震活動に伴う噴気ガス組成の時間変化, 温地研報告, 45, 29-34.
- 代田 寧・板寺一洋 (2010) 2001年以後に箱根火山大涌谷北側斜面に現れた噴気中のガス組成等の時間変化, 温地研報告, 42, 49-56.
- 板寺一洋・代田 寧・本多 亮・原田昌武・行竹洋平・道家涼介・宮岡一樹・萬年一剛 (2013) 2013年1~2月の箱根火山群発地震活動について(概報), 温地研報告, 45, 17-28.
- 大場 武・代田 寧・澤 毅・平 徳泰・攪上勇介 (2008) 箱根カルデラ中央火口丘大涌谷地熱地帯における火山ガス組成の時間変化, 温地研報告, 40, 1-10.

※ 温地研報告は、当所のホームページより閲覧(ダウンロード)できます。

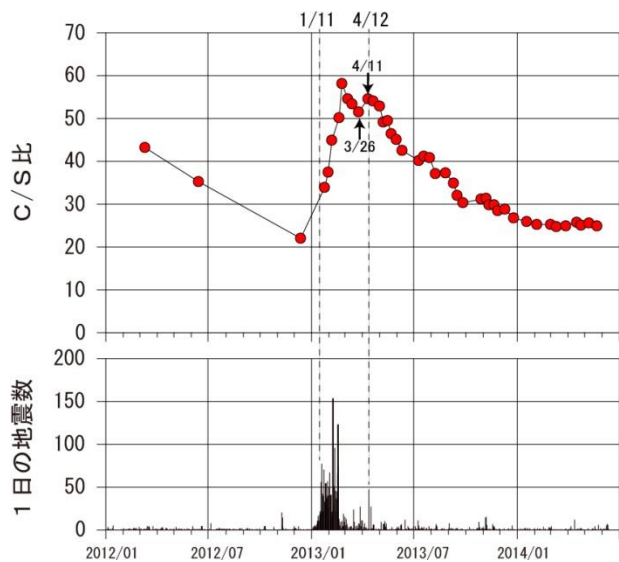


図2 C/S比と地震数の推移

掘削によって明らかになった鎌倉・逗子の平野発達史

○萬年一剛

1. はじめに

神奈川県では平成 23 年度から相模湾岸の平野部で津波堆積物調査を実施してきました。平成 24・25 年度は温泉地学研究所が調査を担当し、鎌倉、逗子、三浦の 3 市域で掘削調査を行いました。津波堆積物調査では、津波堆積物を探すのが最大の目標です。しかし、津波堆積物を発見することは大変難しいので、空振りの方が多くなります。このことだけ見ると無駄が多い調査と言えてしまうかも知れませんが、空振りになった理由を詳しく検討することは、その地域がどうやって出来たかを知る上で大変重要です。今回は、津波堆積物調査で得られた結果から、現在住宅地となっている鎌倉および逗子の海岸近くの平野がどのように出来たと考えられるかを紹介します。

2. 海水準の変動

現在、地球温暖化による海面変動が懸念されていますが、海面の高さ、つまり海水準は人間活動が激しくなる前にも変動していました。これは気候が変化するためです。気候が寒くなり、大陸の広い範囲が氷床に覆われる時期のことを氷期と呼び、過去数百万年間、何度も繰り返して訪れています。最新の氷期は最終氷期と呼ばれ、その最盛期であった約 2 万年前、海水準は今より 100m 以上低くなっていました。その後、海水準は上がり、縄文時代には現在より内陸側に海岸線がありました。歴史時代の海水準は現在とほとんど変わらないと考えられますが、微妙な変化はあったようです。

3. 海水準と地質

最終氷期に海面が低下した時期、現在の鎌倉や逗子低地がある場所は海拔 100m 前後の山の中でした。現在の鎌倉・逗子の山の中がそうであるように、山を作っている「逗子層」などの古い地層を沢が削って谷を作っていました。鎌倉や逗子でボーリングを掘って、逗子層が出てくる標高を地図上でプロットしていくと当時の谷の様子が明らかになってきます。海岸近くでは地表から 30m 以上の深さで、このときの谷底が見つかることもあります。

縄文時代には、今の標高 8m 付近、鎌倉で言うと鶴岡八幡宮の前あたりまで海が迫っていました。このとき、最終氷期に出来た谷は入江となって、土砂により埋められていきました。

その後、海面が下がっていくと縄文時代に出来た海底面は波打ち際に露出するようになり、波で削られるようになります。海面が更に下がっていくと、陸地になりますが低地なので湿地や川で出来た地層が溜まっていきます。ここまでは自然のプロセスですが、その後、住宅地になる前に盛り土をした場合が多いようです。

4. 津波堆積物の存在が予想される地層

津波堆積物が含まれると予想される地層は、縄文時代の入江に溜まった地層と、陸上の湿地の地層です。しかし、縄文時代の津波堆積物は海の地層なので、どのくらいまで陸地を遡ったかといった、津波の規模などはわかりません。ですから、今回の研究では陸上の湿地の堆積物を探すことを目的として、海岸近くの平野の低いところを狙って深さ 5m 前後の掘削を実施しました。掘削は、陸上で溜まった地層を掘り抜いて、縄文時代の入江の堆積物に達することを目的としました。解析は、陸上で溜まった地層がどういう堆積物なのか、また陸上で地層が溜まりはじめたのがいつなのかを明らかにすることを目的としました。

5. これまでに明らかになったこと

今回の掘削で、現在の海岸から砂丘を隔てて数百メートルほど離れた低地では、鎌倉でも逗子でも、陸上の地層が堆積しはじめる時期がさかのぼっても12世紀後半であることが判明しました。三浦半島の先端、毘沙門湾でも同様の結果が得られています。縄文時代の6000年前の海の地層のすぐ上に12世紀後半以降の川の地層が覆うことから、浸食されつづけた領域であったもののこの地域が、12世紀後半以降、何らかの理由で川の地層が溜まりはじめたと言うことを意味しています。

なぜ川の地層が溜まりはじめたのか。理由の一つに、鎌倉の都市化が進んで川が運搬する土砂の量が増えたことが考えられます。しかし、明治に入るまで人口があまり増えなかった逗子や三浦半島の先端でも同様の結果が得られていることから、この時期にこの地域が隆起した、あるいは海水準が下がったという可能性が高いと考えられます。

鎌倉大仏で有名な高德院の掘削では、入江の地層と陸上の堆積物の間に大きな年代のギャップはなく6500～6000年ほど前に陸化したらしいことがわかりました。また、鎌倉市大町の掘削でも2500年ほど前に陸化したことがわかりました。陸の地層は、海岸近くの低地では川の影響が大きく、砂礫層が堆積していますが、内陸では湿地の堆積物が堆積しています。内陸の地層は、堆積期間が長いことや、津波堆積物を見分けやすい地層であることから、津波堆積物調査に有利に見えますが標高が5 m以上と高いので歴史時代の津波堆積物を検出するのは難しいと考えられます。

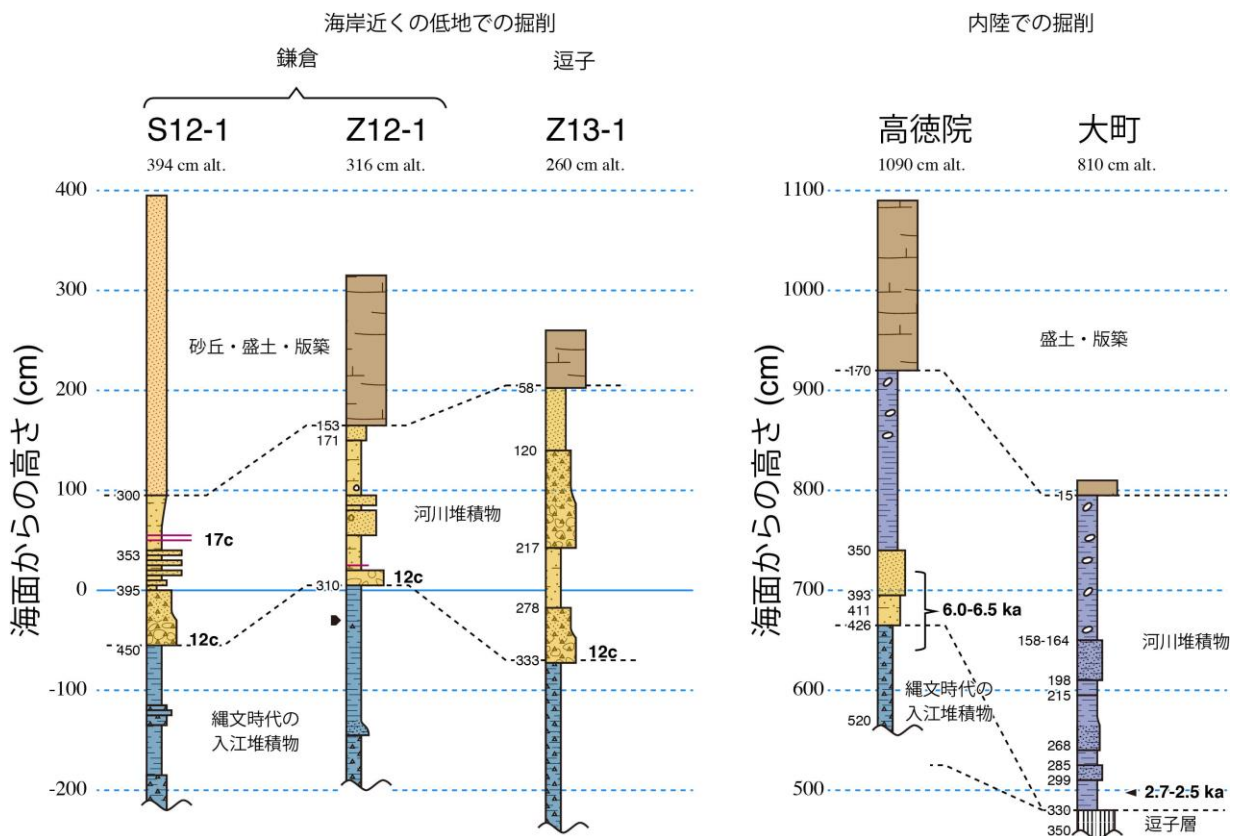


図 代表的な地質柱状図。柱状図右側の数字は年代（ka は1000年前、c は世紀；例えば2.7 ka は2700年前、12c は12世紀）。

足柄平野自噴井の湧出機構と保全について

○宮下雄次

1. はじめに

神奈川県内で最大規模の自噴井湧水地域である足柄平野中・下部では、1,000本を越す自噴井から1日あたり5万トンを超える豊富な地下水が湧き出しています。この豊かな湧き水は、地域住民の飲用水や生活用水として利用されているほか、平野内を流れる小河川や水路の水源となることで、地域の水辺の環境や生態系を守る貴重な環境用水や、水道水源として重要な役割を果たしています。

しかし、これまで調査で、自噴井が分布する範囲は1960年代以降急激に減少し、現在も回復していないことが分かってきました。そこで、今回の発表では、足柄平野自噴井の湧出機構と自噴域が減少した原因について考察を行い、自噴井や湧水の保全に向けた取り組みについて報告します。

2. 足柄平野自噴井の現状

足柄平野の自噴井の分布については、1961年に初めて調査されて以来、これまでに1977年、1989年、1996年、2006年、及び2012年の計6回調査が行われました。各調査ごとに調査した自噴井の数や時期は異なっていますが、調査時点で自噴している自噴井の分布域(自噴域)の面積は、1961年を100%とした場合、1989年の調査では71%まで縮小していました。その後は、調査年次によって自噴域の形状に多少の変化は見られましたが、ほぼ横ばいの70%前後で推移していました(図1)。

また当所では、1968年から、足柄平野の地下水位の観測を行っております。これまでの観測で、平野の地下水位は、水田への灌漑期に上昇し、非灌漑期には低下することが明らかとなっていました。しかし、自噴井からの自噴量については、季節的な変化については、よく分かっていませんでした。

そこで、2012年から2013年にかけて、205地点の自噴井を対象に毎月1回自噴量の調査を行った結果、灌漑時期に対応して自噴量が増加する「灌漑期対応型」の自噴井が全体の約60%ほどあり、これらの自噴井は、酒匂川の西側に多く分布していることが明らかになりました。

更に、「灌漑期対応型」の自噴井は、自噴量の減少傾向が見られるグループと、見られないグループに分けられ、減少傾向を示すグループは、平野下部及び箱根山麓側に多く分布していました。

これらの結果から、足柄平野自噴域においては、近年、自噴域の減少傾向は緩やかになっているが、地域によっては、減少傾向が示唆されることが明らかとなりました。

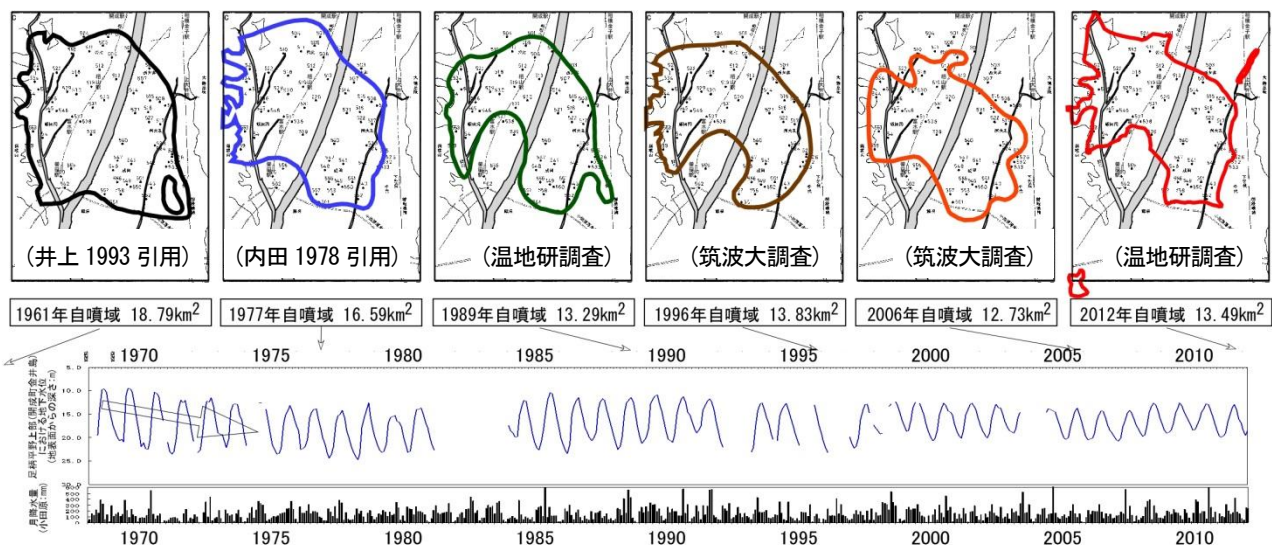


図1 足柄平野自噴域、及び足柄平野地下水位(開成町金井島観測井)経年変化図

3. 足柄平野自噴域及び自噴量の減少要因について

足柄平野自噴域及び自噴量の減少要因については、これまでの研究で、地下水の過剰な揚水によるもの(横山ほか, 1999)、水田面積の減少による地下水涵養量の減少(日比野ほか, 1999)などが、指摘されています。しかし、現在の足柄平野における地下水揚水量は、1992年のピーク時に比べて半分近くまで減少しているにもかかわらず、自噴量や自噴域に回復の兆しは現れていませんでした。

平成 23(2011)年に足柄平野の自噴井約 1,000 地点を対象に実態調査を行った際に、井戸所有者に対して掘削時期の聞き取りをあわせて行いました。この結果、自噴井の掘削本数は 1960 年以降増加し、それにあわせて自噴井から湧出する地下水の量も、急激に増加していたことが明らかになりました。

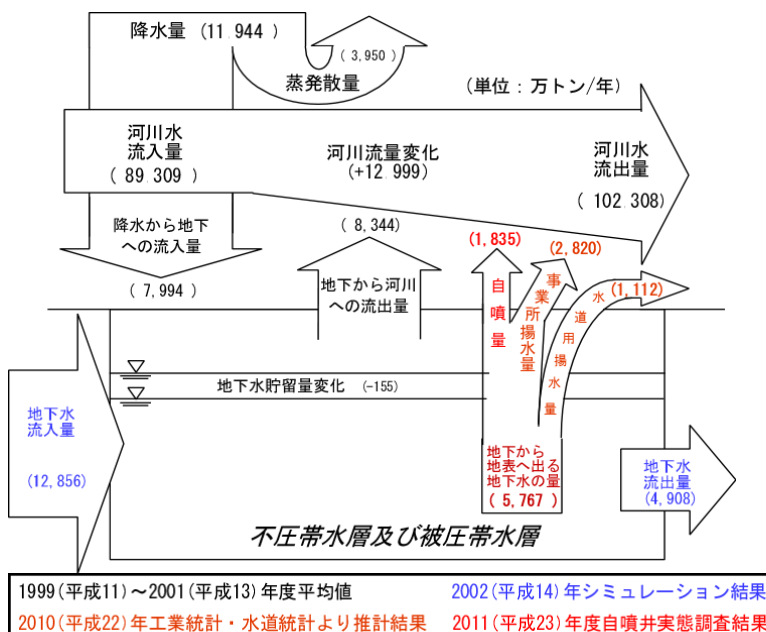
また、この調査により、足柄平野自噴井から湧出する地下水が 1,835 万トン/年と推計されました。この量は、水道水源及び工業用水として足柄平野全体から揚水される地下水の量とあわせると、全体の約 1/3 に相当し、水道水源として揚水される地下水の約 1.7 倍にのぼることが分かりました。

更に、足柄平野全体の水収支を見たとき、酒匂川が平野に入ってから相模湾に出て行くまでの間に、河川流量は約 1 万 3 千トン/年増加しますが、このうちの約 14%が自噴井から湧出する地下水によって賄われていることが明らかとなりました(図 2)。

これらのことから、足柄平野において自噴井の本数が増加した時期は、自噴域が減少した時期とほぼ一致しており、平野全体の自噴量も、足柄平野水収支全体から見ても無視できないほどの量であることなどから、自噴域の減少要因の 1 つとして、今回新たに、自噴井自体の過剰利用による被圧地下水圧の低下の可能性があることが明らかになりました。

4. 足柄平野自噴井の保全について

足柄平野にある 1,000 本を越える自噴井から湧出する地下水は、各家庭において飲用水や生活用水として用いられています。しかし、使用するときだけポンプを稼働させて汲み上げる一般の井戸とは異なり、自噴井は使用しない時も絶えず湧き続けているため、自噴する地下水の多くが、利用されずにそのまま河川へ放流されています。小河川や水路、池などの生態系を維持するための流水量は必要ですが、自噴域を保全するために、使用していない自噴井については、新たな利用を含めて、検討する必要があると考えています。そこで、発表では、自噴井からの湧水の新たな利用方法として、再生可能エネルギーの 1 つである地中熱の利用による地下水保全対策について、現在取り組んでいる研究について、ご紹介したいと思います。



謝辞

本研究は、平成 23～25 年度緊急雇用創出事業、平成 25 年度重点実用化研究事業を用いて行いました。調査にあたっては、井戸所有者ならびに関係機関の方々に、多大なご協力を戴きました。ここに記して感謝いたします。また、平成 24～25 年度における現地調査は、川口松太郎・宇佐美幸夫・廣沢正行・濱畑豊子・田代綾子・對崎邦雄・金井富夫・井上和久・溝呂木昇平各調査員に担当していただきました。

ここに記して感謝いたします。

神奈川県における温泉付随メタンガスの状況と成因について

○代田 寧、板寺一洋、小田原 啓

1. はじめに

2007(平成 19)年 6 月 19 日、東京都渋谷区の温泉施設において爆発事故が発生し、3 名の尊い命が奪われました。温泉施設における事故としては過去に例がないほど大きなものであり、この事故を契機として温泉法も改正されました。事故の原因は、温泉と一緒に汲み上げられたメタン(以後、 CH_4 とします)等の可燃性天然ガスが引火爆発したためでした。 CH_4 は、空気中に体積%で 5～15% (以下、%は全て体積パーセント)含まれると、静電気などの弱い着火源でも爆発する非常に危険なガスですが、温泉付随ガスに関しては十分な法整備がなされていませんでした。環境省では 2007(平成 19)年 11 月に温泉法を改正し、一定基準以上の可燃性天然ガスを含む温泉について、災害を防止するための措置を義務づけました。

これまで当所では、神奈川県内の井戸深度 1000m 以上のいわゆる大深度温泉を主な対象として、温泉付随ガスを採取、分析し、 CH_4 等の発生状況を把握するための調査を実施してきました(代田・小田原、2008；代田・小田原、2009；代田・小田原、2010)。本発表では、その後に当所で実施した調査結果と、温泉法に基づいて行政へ提出された資料も含めて総括し、神奈川県内の温泉付随ガスの発生状況およびその成因について報告します。

2. 南関東ガス田について

爆発事故を起こした源泉は、 CH_4 を主成分とした天然ガスを産出する南関東ガス田(水溶性天然ガス鉱床)といわれる日本有数のガス田地域に位置しています(図 1)。南関東ガス田の主たるガス貯留層は鮮新統～更新統上総層群であり、主にシルト～砂礫岩からなる

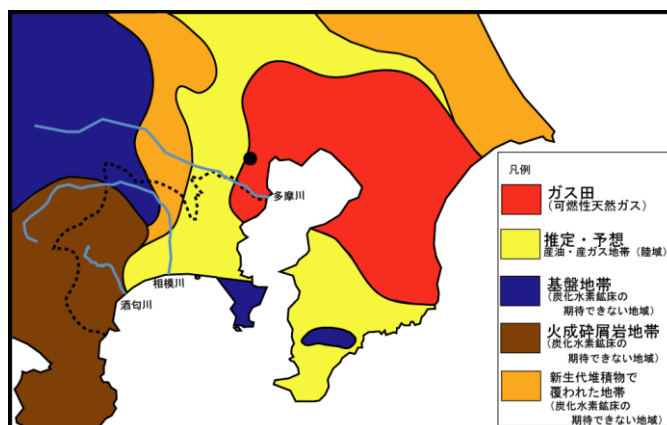


図 1 南関東地域におけるガス田分布図。
●は、渋谷区爆発事故源泉の位置を示す。
地質調査所(1976)をもとに作成。

海成の堆積岩から構成され、地層堆積時に取り込まれた海水(以後、化石海水とします)中に有機物の分解により生成した CH_4 が溶け込み、地表に汲み上げられたときに圧力低下

によって CH_4 が分離、湧出すると考えられています(宮繕工事における天然ガス対応のための関係官公庁連絡会議編、2007)。地下において高圧である大深度温泉では、Henry の法則により溶け込む CH_4 の量が多くなるため、温泉を汲み上げた際の CH_4 の湧出量も多くなると考えられ、災害防止の観点からとくに注意が必要です。爆発事故を起こした渋谷区の源泉も大深度温泉でした。

3. 温泉付随ガスの採取・分析方法

温泉付随ガスの採取は、水中 VOC 成分のヘッドスペース測定法などに用いられるアルミシールバイアルを使用した水上置換法でおこないました。バイアルに採取した温泉付随ガスについて、 CH_4 等のガス組成および炭素同位体組成を石油資源開発株式会社に委託して分析しました。詳細は、代田・小田原(2008)を参照してください。また、ガス採取にあわせて、温泉の温度、pH、電気伝導率の測定をおこなうとともに、温泉水に含まれている塩化物イオンなどの主要な成分の分析もおこないました。

4. 結果および考察

図2に、温泉付随ガスに占めるCH₄濃度の分布図を示しました。この結果や、温泉採取地層、温泉水の成分なども踏まえて神奈川県内の温泉付随ガスの状況を総括し、主なものを以下に示します。

- ・大深度温泉では、地質調査所（1976）の区分による南関東ガス田地域に限らず、県央部から県西部までの広範囲に渡り、高濃度のCH₄を含むガスを湧出することが明らかとなりました。
- ・そのなかには、付随ガス中のCH₄濃度が90%以上を占めるものも数多く認められました。
- ・温泉水は塩化ナトリウムが主成分であり、CH₄が溶け込んだ化石海水を主に汲み上げていると考えられます。
- ・平成19年の爆発事故当初に問題となった上総層群だけではなく、三浦層群や葉山層群を主な温泉採取層としている源泉においても高濃度のCH₄を湧出する可能性があることが明らかとなりました。
- ・エタンやプロパンなどの、他の可燃性天然ガス成分はほとんど含まれていませんでした。
- ・井戸深度が浅い場合においても、南関東ガス田に区分される地域などでは高濃度（50vol%以上）のCH₄を含んでいました。とくに、温泉水中の塩化ナトリウム濃度が高く、化石海水が含まれていると考えられる場合に顕著でした。
- ・炭素同位体比の測定結果などから、CH₄は主に微生物起源であることがわかりました。

以上のことから、神奈川県内において高濃度のCH₄を湧出する主なメカニズムは、地層堆積時に取り込まれた化石海水中に含まれる有機物が微生物によって分解されたためと考えられます。

謝辞

本調査を実施するにあたり、源泉所有者の方々には温泉付随ガスの採取を快く許可していただきました。また、保健所等の温泉担当者の方々には、ガス採取に関してご協力いただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献（温地研報告は、当所のホームページより閲覧(ダウンロード)できます）

- 地質調査所（1976）日本油田・ガス田分布図（第2版），矢崎清貫（編），1:2,000,000 地質編集図 No. 9.
- 代田 寧・小田原 啓（2008）神奈川県における温泉付随ガスの実態調査結果（第1報），温地研報告，40，79-84.
- 代田 寧・小田原 啓（2009）神奈川県における温泉付随ガスの実態調査結果（第2報），温地研報告，41，73-76.
- 代田 寧・小田原 啓（2010）神奈川県における温泉付随ガスの実態調査結果（第3報），温地研報告，42，67-72.
- 営繕工事における天然ガス対応のための関係官公庁連絡会議編（2007）施設整備・管理のための天然ガス対策ガイドブック，99p.

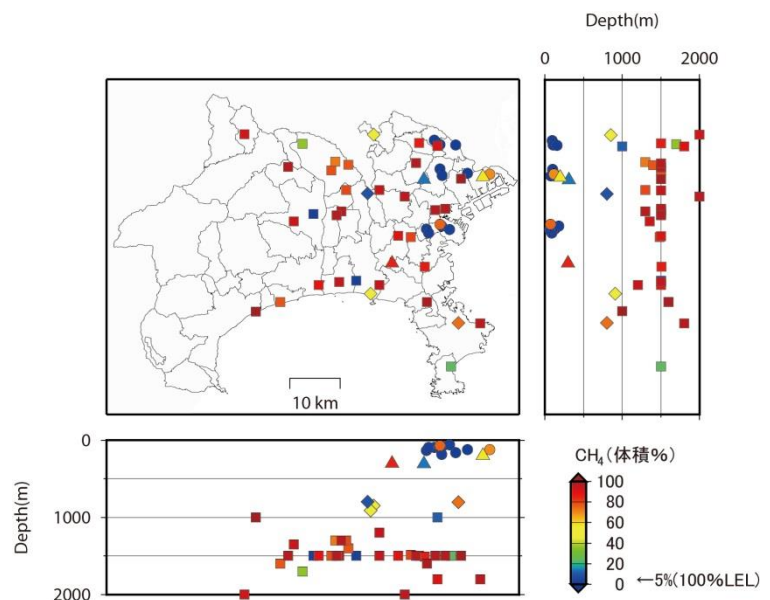


図2 温泉付随ガスに占めるCH₄濃度の分布図

箱根火山で発生した群発地震活動の特徴とその分類

○原田昌武、行竹洋平、宮岡一樹、本多 亮、板寺一洋、道家涼介、
里村幹夫（温泉地学研究所）、吉田明夫（静岡大学）

近年の箱根火山では、比較的規模の大きな群発地震が6回（2001年、2006年、2008年、2009年、2011年、2013年）発生しました。これらの群発地震活動について、地震活動の特徴を比較した結果、いくつかの共通点や違いが発見されましたので報告します。

図1に、2001年以降に発生した6回の群発地震活動の震央分布を示します。これを見ると、2001年と2006年、2013年の活動（以後、ES1型と呼ぶ）では、駒ヶ岳から大涌谷にかけての中央火口丘直下に地震が集中していたことがわかります。一方、2008年と2009年（以後、ES2型と呼ぶ）の活動では中央火口丘直下の地震は少なく、活動の中心は芦ノ湖北部から湖尻にかけての地域です。また、M0.1以上の地震を用いて地震活動の統計的な性質を示すb値を求めると、ES1型の活動は1.0~1.1であるのに対し、ES2型は0.8~0.9となり、それぞれのタイプで特徴が異なっていることがわかります。両者のタイプの活動の違いは、各群発地震の開始100日間の地震積算数の推移にも見られます（図2）。すなわち、ES1型は立ち上がりから1ヶ月以上一定の地震発生レートを継続しているのに対し、ES2型は活動開始から10日間程度急激に増加しますが、その後のレートは相対的に顕著に緩やかとなる特徴があります。

このように、2001年以降、我々が箱根火山において観測した6回の群発地震活動は、地震活動の時空間パターン及びその統計的性質の違いから、ES1型とES2型、それに、遠地地震による誘発型（RT型）の3つのタイプに分類できます。こうしたタイプ分けは、深部での圧力源の生成が浅部での群発地震活動に先行することと併せて（原田ほか、2011；原田ほか、2013；宮岡ほか、2013）、火山活動の推移を判断する上で有効な手掛かりになると考えられます。

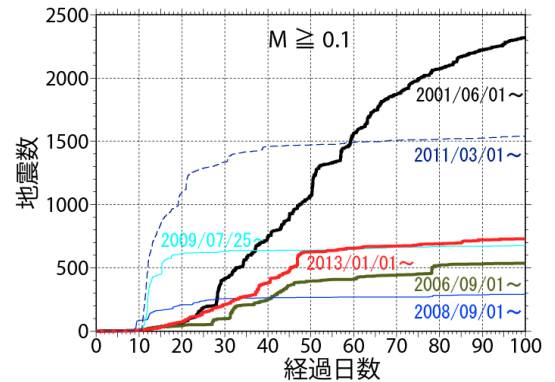


図2 各群発地震の立ち上がり100日間の地震数積算曲線 (M $\geq$ 0.1)。太線はES1型、細線はES2型、破線はRT型。

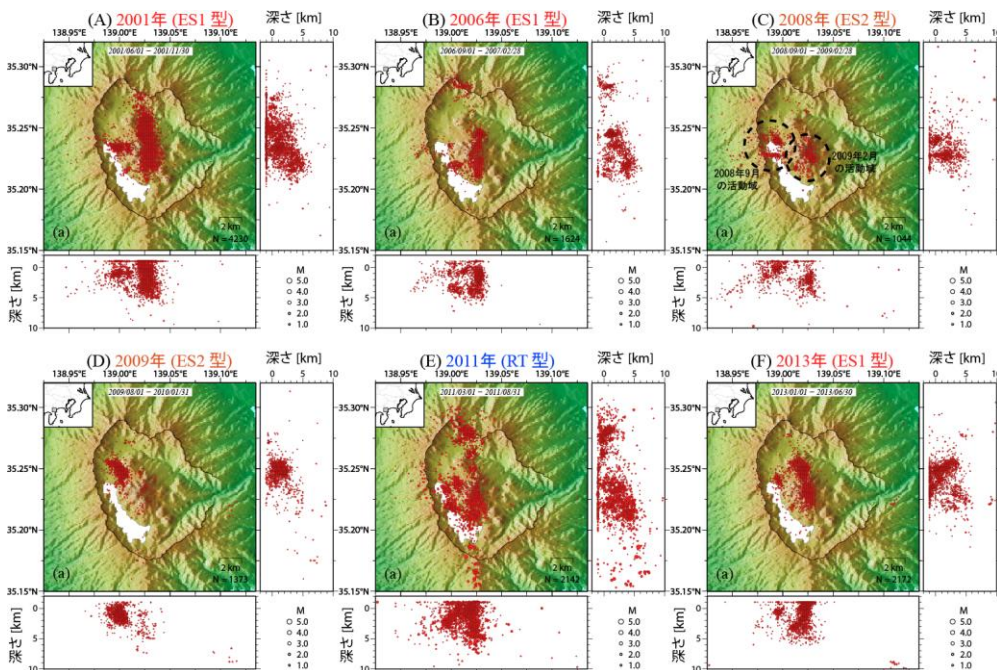


図1 群発地震の震央分布図。
(A) 2001年、
(B) 2006年、
(C) 2008年、
(D) 2009年、
(E) 2011年、
(F) 2013年。

GPS データによる伊豆衝突帯北東縁の地殻変動

○道家涼介、原田昌武、里村幹夫、宮岡一樹

1. はじめに

フィリピン海プレートの最北端である伊豆半島周辺の地域では、伊豆半島が本州に衝突する一方、その東側では相模トラフで日本列島下への沈み込みが発生しています。このような複雑な衝突および沈み込みに特徴付けられる伊豆衝突帯の北東縁部では、歴史的にみて、M7 クラスの地震が多く発生しています（宇佐美、1987；石橋、1993）。本研究では、国土地理院の GPS 観測網（GEONET）の観測点に加え、温泉地学研究所独自の GPS 観測点のデータを用いて、伊豆衝突帯北東縁部において定常的に進行する地殻変動について検討を行いました。

2. 方法

GEONET 観測点のデータは、国土地理院が公表している日々の座標値を使用しました。それに加え、温泉地学研究所による GPS 観測点のデータについては、独自に解析を行い、日々の座標値を算出しました。これらの日々の座標値を用いて、GEONET 函南観測点を固定点とした各観測点の変位速度ベクトルを求めました。その際、2010 年以前の期間を対象に、群発地震等による非定常的な地殻変動を含まない期間（2～7 年間）を観測点毎に抽出し、定常状態における変位速度場（図 1）を推定しています。

3. 結果および考察

本研究により以下のことが明らかとなりました。

- 1) 北伊豆断層帯周辺の東西では、GPS の変位速度場に明瞭な違いが存在し、東側の地域で北向きの変位が顕著である（図 1）。
- 2) 北伊豆断層帯周辺から足柄平野の間では、東に位置する観測点ほど北向きの変位速度が大きくなる傾向が認められることから、同地帯では、顕著な変形が生じている。

なお、この変形帯は、伊豆半島の北端部における衝突と沈み込みの間に生じた年間約 10mm の変位速度差に起因し発生したと推定されます。

謝辞

観測機器を設置させて頂いている各関係機関にお礼申し上げます。

参考文献

宇佐美龍夫（1987）新編日本被害地震総覧，東京大学出版会，434p.

石橋克彦（1993）小田原付近に発生した歴史地震とその地学的意義，地学雑誌，102，341-535.

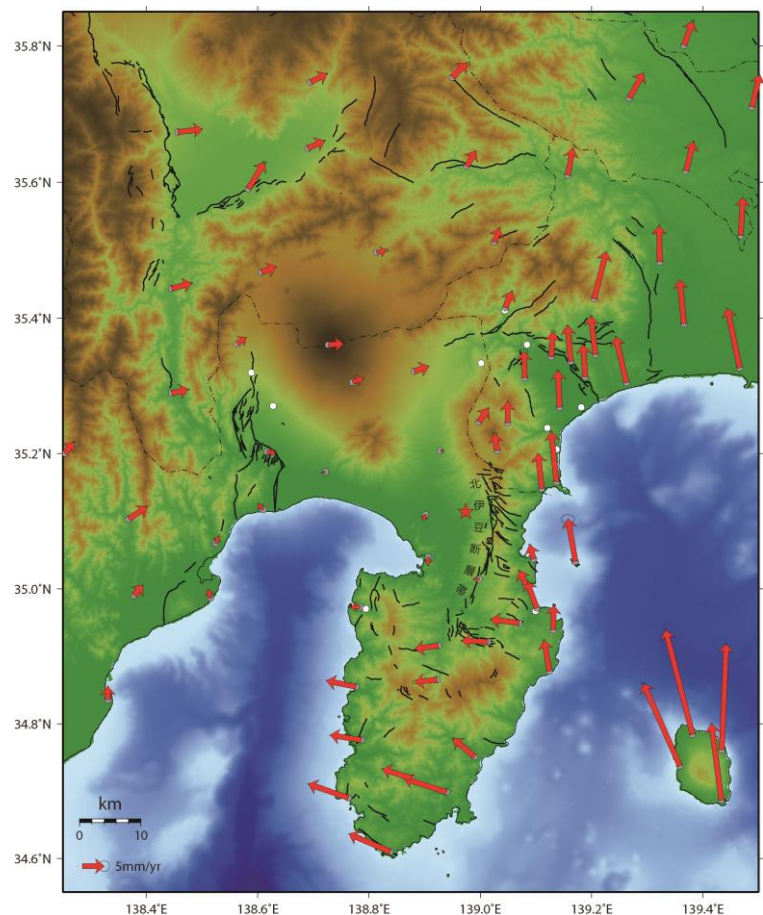


図 1 定常時における GPS 変位速度場。GEONET 函南観測点を固定（★印）。白丸は 2 年以上の安定した期間が得られなかったため、変位速度の算出から除外した観測点を示す。黒実線は活断層を示す。

富士川河口断層帯～糸魚川-静岡構造線横断地下構造探査（2012FIST）

報告：沼久保断層ならびに大宮断層による撓曲構造

○小田原 啓（温泉地学研究所）・狩野謙一（静岡大）・伊藤谷生（帝京平成大）

1. はじめに

2012 年 4 月、静岡大学狩野謙一教授、帝京平成大学伊藤谷生教授を中心として、富士川河口断層帯から糸魚川-静岡構造線の西側にかけての深部地下構造探査（伊藤ほか、2013）および浅部地殻構造探査（狩野ほか、2013）が行われました。本発表では、その地下構造探査の解釈に資するために富士宮市星山丘陵周辺において地表地質調査を行った結果を紹介します。

2. 沼久保断層

富士宮市沼久保の採石場跡には東西幅約 150m 以上にわたって、中部更新統の鷲ノ田礫層（杉山・下川、1982 ; Yamazaki、1992）に相当する礫岩～砂礫岩層が露出しています。この露頭の西端から 10m 付近には、ほぼ N-S 走向で 65° の西傾斜を示す断層が認められます。断層の西（上盤）側の地層は西に急傾斜し、断層に接する部分では断層面とほぼ平行になります。断層の東（下盤）側では、東方に急傾斜（ 75° ）していた地層も数 10m 離れると低角化し、露頭東端部では東または南に緩傾斜します。すなわちこの露頭の鷲ノ田礫層は、軸部に向かって尖った半波長 100m 以上の尖頂褶曲を作り、断層はその褶曲の軸面に形成されています。

この露頭の断層を沼久保断層、および背斜構造を沼久保背斜と呼ぶことにします。浅部地下構造探査では、星山丘陵の地下浅部を構成する鷲ノ田礫層とその下位の地層中に波長数 100m の開いた褶曲が繰り返しているように読み取れることが示されました。沼久保背斜と沼久保断層はその一部であり、プレート収束域の表層部で、このような尖頂褶曲と高角断層が形成されている事を確認できたことは興味深い事実です。

3. 大宮断層による撓曲構造

大宮断層は、富士宮市星山丘陵の北東縁に位置し、駿河トラフから連続する富士川河口断層帯の東縁断層で、平野部地下と丘陵上部に分布する約 2 万年前の古富士泥流（Mf-III）の分布高度差が 80m あることから、平均垂直変位速度 4m/千年の A 級活断層であり、東傾斜高角の正断層とみなされてきました（Yamazaki、1992）。しかしながら浅部地殻構造探査では、反射断面には大宮断層を示唆する東傾斜の断層は認められず、大宮断層は撓曲状地形の下部に伏在する衝上断層であり、星山丘陵東部はナップ、撓曲状地形はその先端部に形成された断層関連褶曲の地表表現であると解釈されました。

星山丘陵東端部の下高原から山本にかけての崖に古富士泥流が露出しており、この古富士泥流に含まれる角礫の配列は、北西走向で北東に約 80° 傾斜し、地層の走向傾斜と概ね一致します。この古富士泥流の急傾斜構造は、浅部地下構造探査で示された撓曲の具体的証拠であると言えます。

謝辞：本発表は、静岡大学防災総合センターが主催する、ふじのくに防災フェロー養成講座の一環として実施されました。また、（独）産総研の杉山雄一氏、水野清秀氏、FIST 関係者ならびに地権者の方々のご協力に感謝します。

引用文献

伊藤ほか（2013）日本地質学会第 120 年学術大会講演要旨，p. 125.

狩野ほか（2013）日本地質学会第 120 年学術大会講演要旨，p. 126.

杉山雄一・下川浩一（1982）地調月報，33(6)，293-317.

Yamazaki（1992）地調月報，43，603-657.

三浦市における関東地震の隆起量に関する地形地質研究

○金 幸隆、萬年一剛

1. はじめに

神奈川県直下のプレート境界で発生する巨大地震として、1923 年(大正 12 年)の大正関東地震(M7.9)と 1703 年(元禄 16 年)の元禄関東地震(M 約 8.0)の二つが知られています。この二つの地震の発生間隔は 220 年としていますが、その災害像や地殻変動像は異なることが明らかにされています。本研究は、元禄地震の一つ前の地震の履歴と発生間隔および地震地殻変動の累積過程を明らかにするため、三浦半島南部の毘沙門湾の海岸における地形・地質学的な研究を行いました。

2. 方法

過去の地震の地殻変動量を解明するためには、地震前の元の地形の高さを調べる必要があります。海成段丘は、もともと海だった場所が突発的又は急激に陸化した地形であり、地震時変動の有力な指標とされています。とくに干潟は海水準を示すことから、干潟が海成段丘となった場合、その離水干潟の高度から地殻変動量を導出することが可能です。そこで、陸化した離水干潟を探すわけです。

はじめに 1946 年米軍撮影の空中写真と大正地震前の縮尺 5 万分の 1 の地形図を用いて三浦半島南部の旧海岸線および海成段丘の分布を判読しました。次に最大深度 5 m の浅層ボーリング掘削を 9 地点で実施し、海成段丘における地質を明らかにしました。とくに段丘堆積物の層序と堆積場の特徴について、堆積構造、粒径、構成物質(貝殻や珪藻殻の種類)に基づき分析し、現世の干潟のそれらと比較をしました。また年代測定を実施し、堆積時期を推定いたしました。これらの地形、地質、年代の情報に基づき、段丘の成因について検証しました。

3. 結果および考察

毘沙門湾は、4 つの谷が合流した場所に形成された小さい入り江です。そのうち西側の谷は、海岸から内陸に約 2 km まで分布し、河口には干潟が形成されています。干潟堆積物は、水深-0.2 m~+0.7 m では多量に貝殻片を含む砂礫層、また水深-0.2 m 以深では泥質砂層でした。

空中写真に基づく、谷底の上流部は沖積低地となっていますが、河口付近では河口干潟の形状を呈した海成段丘面が 5 段認められます。高位より順に L1、L2、L3、L4 および L5 面としました。また、この谷の支谷には、L 面よりも高位の段丘面が分布しており、年代測定から約 4000 年前に形成されたことが判明しました。本研究では、低位の段丘の成因に焦点を当てます。大正地震の前と後の地形図に基づく、地震後に海岸線が海側に後退しており、新旧の海岸線の間に L5 面が形成されています。したがって、L5 面は大正地震によって形成された海成段丘面です。

L2 面~L5 面では、ボーリング調査を実施しました。堆積物は主に 4 つに分けられ、上位より順に耕作土、泥炭層・河成砂礫層・崩壊堆積物からなる陸の堆積層、干潟の泥質砂層・砂礫層、潮下帯よりも深い内湾の砂質泥層でした。耕作土(層厚 1~2 m)は全地点で厚く盛られており、自然の堆積物は標高 2.1 m 未満に堆積しています。また全ての地点で内湾砂質泥層を不整合に覆う干潟層が認められ、干潟層の堆積面の高度が L2 面: 1.6 m、L3 面: 1.2 m、L4 面: 1.3 m、L5 面: 1.1 m と計測されました。干潟層の年代を調べたところ、L2 面の干潟層は 1030~1210 cal. AD の泥炭層に覆われ、平安~鎌倉時代以前には離水していることが明らかになりました。L3 面干潟層から採取した 2 片の木片の年代は 1160~1260 および 1260~1380 cal. AD を示すことから、L3 面では鎌倉以前に干潟となり、鎌倉中期~南北朝時代以降に河成堆積物や崩壊堆積物に覆われます。以上から、L2 面と L3 面の干潟層の堆積年代および高度は不連続であり、地震によって段丘が形成されたと推定されます。鎌倉には地震災害の歴史記録があり、鎌倉時代に地震が発生していた可能性があります。

箱根温泉の泉質

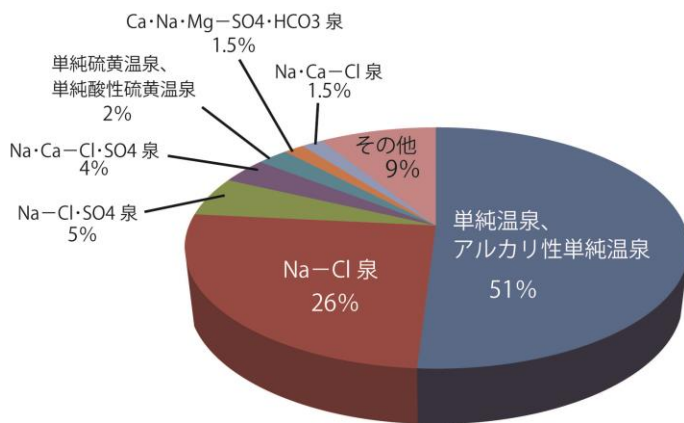
○菊川城司

1. はじめに

近年実施した箱根温泉の源泉 257 カ所の調査結果から箱根温泉の泉質についてとりまとめたので紹介します。なお、詳細については、神奈川県温泉地学研究所報告第 43 巻（2011 年発行）に掲載されています。この報告書は、神奈川県温泉地学研究所のホームページ（<http://www.onken.odawara.kanagawa.jp/files/PDF/houkoku/43/houkoku43-p73-79.pdf>）からご覧になれます。

2. 結果

泉質数は 25 種類で、単純温泉が最も多く、次いでナトリウム－塩化物泉が多くなっていました。また、泉質分布図から、泉質の種類は均一に分布しているわけではなく、地域によって特徴があることが判ります。平成 25 年 3 月末現在、箱根温泉の源泉数は 346 ケ所ありますが、その約 75%の源泉を調査しており、この分布図が箱根温泉の現状をほぼ表していると考えられます。



左図：主な泉質の占有率

下図：箱根温泉の泉質分布

