繰り返し重力測定による地熱貯留層モニタリング

—わが国の地熱発電の現状を交えて—

藤光 康宏^{*1,†}, 西島 潤^{*1}

Geothermal Reservoir Monitoring by Repeated Precise Gravity Measurement —With Current State of Geothermal Power Generation in Japan—

Yasuhiro FUJIMITSU^{*1,†} and Jun NISHIJIMA^{*1}

Synopsis: After the Great East Japan Earthquake, renewable energies were reconsidered as one of the important electric power sources in Japan. Of the renewable energies, geothermal power generation does not depend on the weather and can ensure stable electric power supplies. There were 17 geothermal power stations in Japan at the end of FY2013, and the present total installed capacity is only half of the capacity of a nuclear power station, although Japan has the third largest geothermal energy potential in the world. In order to guarantee sustainable geothermal power generation, some techniques for geothermal reservoir monitoring are indispensable. Repeated precise gravity measurement is suitable for monitoring reservoirs because it can obtain the planar distribution of temporal gravity changes caused by apparent density changes in the reservoir at low cost. We have conducted repeated precise gravity measurements at some geothermal power station areas not only in Japan, but also in Indonesia and New Zealand, and have detected temporal gravity changes with hybrid measurements that utilize both relative and absolute gravimeters. The main cause of difficulty when using this technique is that the measurement accuracy of our present gravimeters is almost the same as the gravity change caused by the phenomenon we would like to detect. Therefore, we expect that a superconducting gravimeter, which has several thousand times higher measurement accuracy, will lead to a breakthrough for the problem at hand.

Keywords: geothermal power generation, sustainability, reservoir monitoring, gravity measurement, superconducting gravimeter

(Some figures in this article may appear in color only in the electronic version)

1. はじめに

わが国に未曾有の被害をもたらした東日本大震災は、同時にわが国のエネルギー政策、特に電力の供給源について、これまでの方針の是非を国民に問うものとなった。地球温暖化対策として化石燃料の使用を抑制しなければならない中で、原子力への依存割合を減少させるための選択肢としては、今のところ再生可能エネルギーしかない。わが国においては再生可能エネルギーの代表選手は太陽光と風力であるが、天候に左右されず安定した発電が可能であること

から、一時は政府から見放されていた地熱がここに来て見直されてきた。ここでは、地熱エネルギーについての概論と、わが国における地熱発電の現状について述べると共に、地熱エネルギー利用に関して我々が実施している研究の中で、低温工学・超電導学会に関連すると思われる話題を紹介する。

2. 地熱エネルギーについて

地熱エネルギーとは言い換えれば地球自体が保持している熱エネルギーであるが、地学の教科書等でも示されているように、地球中心部の温度は約 6000℃と推定されている¹⁾。地球が誕生してから約 46 億年が経過したと考えられているが、現在もこのような高温を維持するための熱源として、生成過程で地球が得た熱エネルギーの残余熱と地球内部の放射性物質の崩壊熱の 2 つが考えられている²⁾。前者は、主に宇宙空間にあった物質が衝突し次第に集積し

Received June 29, 2015

^{*1} 九州大学大学院工学研究院

〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744

Faculty of Engineering, Kyushu University, 744 Motooka, Nishi-ku, Fukuoka 819-0395, Japan

[†] E-mail: fujimitsu@mine.kyushu-u.ac.jp

DOI: 10.2221/jcsj.50.451

Fig. 1 Diagram representation of geothermal systems.

て地球を形成する際に運動エネルギーが熱エネルギーに変換されたり、地球のコアを形成する際に重い物体が地球の中心に向かって沈んで行き、その位置エネルギーが最終的に熱エネルギーに変換されたりしたものである。一方、後者は、長い半減期を持つ放射性物質（主に U, Th, K）の崩壊によるものである。以前は、現在の地球からの放熱量の多く（例えば 76%）は放射性物質の崩壊熱によるものと推定されていたが³⁾、地球起源のニュートリノ観測による最近の研究では、総放熱量約 44 TW のうち放射性物質由来のものは約 24 TW と見積もられており、放射性物質の貢献はこれまで考えられていたものより小さいと結論されている⁴⁾。

これだけ膨大な熱エネルギーを持つ地球ではあるが、人類が現在利用できる対象範囲はたかだか地表から数 km 深程度である。Fig. 1 はその対象範囲に存在する地熱系を模式的に表したものであり、地熱系を構成する三要素、すなわち「熱源」・「水（流体）」・「地下構造」が示されている。熱源としてはマグマ溜まり等の火山性のものが考えやすいが、花崗岩のような放射性物質を多く含有する岩石がある程度以上の体積を持つ岩体となると、体積と表面積の関係

から崩壊熱による加熱速度が岩体表面からの熱伝導による冷却速度以上となり岩体中に蓄熱されるため、やはり熱源となり得る。このような非火山性の熱源を対象とした地熱開発については後述する。地下に涵養された天水は熱源により伝導的に加熱されたり、火山性流体と混合したりして高温の地熱流体となる。地熱流体は一般的に浅部と深部を低透水層（Fig. 1 ではキャップロックと基盤岩）に挟まれた高透水性の構造（地熱貯留層）に蓄えられると共に、地表まで届く断層破碎帯等がある場合には地表に到達し、沸点以上であれば噴気に、以下であれば温泉になる。

3. わが国の地熱発電の現状

わが国では、生産井から蒸気と熱水の両方が得られる熱水卓越型地熱の貯留層が多いため、現在わが国で主流となっている地熱発電の方式は、Fig. 2 に示されているように地下からの気液二相状態の地熱流体をセパレーターで蒸気と熱水に分離し、蒸気をタービンに送って発電機を回転させるものである。また、数は少ないが、生産井からほぼ蒸気のみが得られる蒸気卓越型の地熱貯留層の場合は、セパレーターを設置せずに直接タービンに蒸気を送っている。

Fig. 2 Schematic of a conventional geothermal power plant.

後述の方式と区別するために、これらは在来型と呼ばれる。Fig. 2 は地熱流体から一度だけ蒸気を取り出すシングルフラッシュ方式の説明となっており、国内のほとんどの在来型地熱発電で採用されているが、大分県にある九州電力八丁原発電所（1号機 55 MW+2号機 55 MW）では、第1段目のセパレーターで分離した熱水をフラッシャーに送り、もう一度低圧の蒸気を発生させてタービンに送るダブルフラッシュ方式が採用されている。

在来型地熱発電を行うには温度が低すぎる、150℃前後あるいはそれ以下の温度の熱水が得られる場合には、ペンタンやアンモニアのような低沸点媒体を加熱してその蒸気でタービン及び発電機を回転させるバイナリーサイクル発電が適用される（Fig. 3）。バイナリーサイクル発電は海外では普及しているが、国内におけるメガワットクラスのもの、現在のところ九州電力八丁原発電所構内の 2 MW プラントと、2015 年 2 月に営業発電を開始した鹿児島県メディポリスエナジーのメディポリス指宿発電所（1.5 MW）のみである。

これらの発電方式、特に在来型発電は前述の地熱の三要素が揃っている場所でないとは適用できないが、地熱開発の対象を広げるために、熱源だけがあるような地域に人工的な熱水循環系を造成して発電を行う方式が実用化に向けて研究・実験されている。この方式は 1970 年代はじめに米国で実験が開始され、80 年代～90 年代にはわが国を含め世界で研究が進められた⁵⁾。当時は高温岩体（Hot Dry Rock; HDR）発電と呼ばれていたが、近年は HDR を含め、能動的に地熱エネルギーを抽出する方法として EGS（Enhanced Geothermal System あるいは Engineered Geothermal System）と呼ばれている。高温岩体発電は、Fig. 4 に示すようにまず坑井を掘削して地表からポンプで水を圧入し、水圧破碎で、あるいは既存の亀裂を押し広げるようにしながら、花崗岩体などの高温の岩体中に人工的地熱貯留層を造成した後、生産井を掘削して高温流体を回収し

Fig. 3 Schematic of a binary cycle geothermal power plant.

Fig. 4 Schematic of a hot dry rock geothermal power plant.

て発電を行う方法である。EGS はオーストラリアやヨーロッパでも熱心に研究されており、この技術が確立されれば開発可能な地熱資源量が現在の何倍にもなるものと期待されている。

わが国の地熱発電所は 2013 年度末の段階で 17 か所であり、全て第四紀火山（活火山を含む、第四紀（約 260 万年前～現在）に活動した火山）の近くに存在している。総認可出力の変遷⁶⁾（Fig. 5）が示すように、1966 年にわが国最初の地熱発電所が岩手県の松川で日本重化学工業により、また翌年にはわが国最初の商用地熱発電所が大分県の大岳で九州電力により、それぞれ運転開始して以来、1970 年代の 2 度のオイルショックを経て、国のサンシャイン計画と NEDO の設立により石油の代替エネルギーとして研究・開発が進められ、1990 年代半ばまでは発電設備容量が増加した。しかし、その後バブルがはじけてわが国の経済状態が急激に悪化したことに加えて、国の政策が大電力を得られる原子力へシフトして地熱研究開発を停止したことや観光資源としての温泉への影響を懸念する反対運動により、地

Fig. 5 Total permitted output of the geothermal power stations in Japan.

熱開発を取り巻く環境は急変し、1999 年の八丈島発電所（3.3 MW）の運転開始を最後に在来型地熱発電所の新規地点の開発はなく、23,470 MW という世界第 3 位の地熱エネルギーポテンシャルを誇りながら⁷⁾、2013 年度末の総認可出力は 515 MW に留まっている⁶⁾。一方、世界では地熱発電が伸び続けているため、わが国の地熱発電の総発電設備容量の世界における順位は、2010 年の段階で 5 年前から 2 つ順位を落として 8 位となり⁸⁾、2015 年の速報値ではケニアにも抜かれて 9 位となった⁹⁾。原子力発電所は 1 基あたり約 1,000 MW の出力があるため、国内全ての地熱発電所が束になっても原子力発電所の半基分にしかならず、また 2013 年度末における国内の事業用（停止中の全原子力発電所 44,264 MW を除く）及び自家用の発電設備容量の合計は 244,907 MW¹⁰⁾であることから、地熱発電がわが国の電力供給に占める割合が如何に小さいかが判る。

4. 重力測定による地熱貯留層のモニタリング

地熱発電は再生可能ではあるが、持続可能な地熱発電を行うためには地熱流体の生産・還元が適切に行われているかどうかなど、地熱貯留層のモニタリングを実施する必要がある。地熱発電の場合、ボイラーが地球であるため残念ながらメーターが備え付けられていない。そのため、一般的には観測井等を用いて貯留層圧力や温度の測定を行うが、これらの方法は坑井位置の測定値しか得られず、また坑井

掘削費用は非常に高価であるため（深度 2 km 程度で 3～4 億円¹¹⁾）、多くの地点での測定値を得ることは難しい。そこで九州大学大学院工学研究院地球資源システム工学部門地球熱システム学研究室では、広範囲に配置した測点における地表での測定で地熱貯留層をモニタリングする手法と

Fig. 6 Concept of repeated precise gravity measurement. Lower: Vertical section of the ground that includes production and reinjection wells. Upper: Temporal change of the gravity distribution on the ground surface along the vertical section.

して、繰り返し精密重力測定の研究を進めている。

Fig. 6 は繰り返し精密重力測定概念を示しており、生産井・還元井が存在する場所の地下断面（下図）と、その断面に沿った重力値の経時変化（上図）を示したものである。この断面に沿って地表に配置された測点で繰り返し精密重力測定を実施する場合、第1回目の各測点における測定値を経時変化の初期値（ゼロ）として **Fig. 6** 上図のグラフの横軸とする。地熱流体の生産が過剰となり地熱貯留層圧力が減少した結果、今まで液相であった部分が気相に相変化すると、貯留層の該当部分の見掛け密度が小さくなる。すると、地表に配置した測点で定期的に繰り返して重力測定を実施していると、見掛け密度が小さくなった地熱貯留層が存在する場所の直上の地点を中心に、時間と共に重力値が小さくなって行く (**Fig. 6** 上図の赤破線)。逆に見掛け密度が大きくなる場合には、時間と共に重力値が大きくなって行く (**Fig. 6** 上図の青破線)。地表で測定される重力分布は両者の重ね合わせとなり (**Fig. 6** 上図の黒曲線)、この重力経時変化データにより地熱貯留層内における地熱流体の質量収支のモニタリングができ、また数値モデリングによるシミュレーションと組み合わせることで地熱流体の挙動を推定することが可能となる。この変化を検出するためには、 $1 \sim 10 \times 10^{-6}$ gal ($1 \text{ gal} = 1 \times 10^{-2} \text{ m/s}^2$, $9.8 \text{ m/s}^2 = 980 \text{ gal}$) の精度で重力値を測定する必要がある。一般的に、重力計は地層の密度差を利用した地下構造探査に用いられており、 $1 \sim 10 \times 10^{-3}$ gal 程度の測定精度で地下構造を検出できることを考えると、地熱貯留層モニタリングのためには地下構造探査の 1000 倍程度の測定精度が要求される。

この地熱貯留層モニタリングのコンセプトはニュージーランドで考案されたものであるが¹²⁾、地熱貯留層は場所によって異なり一つとして同じものはないため、場所ごとに適切な測定手法や解析手法を探る必要がある。我々は、

Fig. 7 A10 absolute gravimeter (the cylinder at the center of the photo is the sensor unit and the control unit is in the car) and CG-5 relative gravimeter (the right side cuboid).

1991 年より大分県滝上地熱発電所地域で繰り返し精密重力測定を開始して以来、徐々に測定地域数を増やし、現在では九州内の全ての商用地熱発電所地域だけでなく、東北地方、あるいはインドネシアやニュージーランドの地熱発電所地域での実施経験を有している。開始当初から 10 数年の間は、カナダ Scintrex 社の CG-3、CG-3M といった相対重力計を用いていたが、近年は Scintrex 社の CG-5 相対重力計と米国 Micro-g LaCoste 社の A10 絶対重力計を組み合わせたハイブリッド測定を実施している (**Fig. 7**)。相対重力計のみの測定の場合、まず対象地域内において重力値の経時変化が測定精度に比べて十分に小さいと考えられる場所に重力基準点を設置する。重力値の変化に大きく影響を与えるものとして地下水位変動が考えられるため、対象地域内で標高が低くかつ地下水への涵養が期待できる河川の脇などに重力基準点が設けられることが多い。そして相対重力計で重力基準点と他の測点間との重力値の差を測定することで、例えば半年前の測定では測点 A の重力値が重力基準点に対して $+40 \times 10^{-6}$ gal であったのが今回の測定で $+60 \times 10^{-6}$ gal となった場合には、測点 A での半年間の経時変化は 20×10^{-6} gal の増加であると判断する。しかしながら、もし重力基準点における重力値が経時変化していた場合、例えば今回の測定時に重力基準点での重力値が半年前より本当は 40×10^{-6} gal 減少していた場合には、測点 A の重力基準点に対する今回の本当の値は -40×10^{-6} gal $+60 \times 10^{-6}$ gal $= +20 \times 10^{-6}$ gal であり、半年前の $+40 \times 10^{-6}$ gal から 20×10^{-6} gal の減少ということになる。つまり、重力基準点における重力値の経時変化の有無の評価は非常に重要であるが、相対重力計のみの測定では重力基準点における重力変動は判らないため解決は困難である。そこで、絶対重力計を導入し、重力基準点において重力の絶対値を測定すれば、残りの点は相対重力計だけでも重力の絶対値を決定することが可能となり、各測点における重力値の経時変化が正しく得られる。このようにして、重力基準点における重力の経時変化の問題を解決している。

Fig. 8 Gravity change at a geothermal power station area. Black dots and a black square indicate the location of the measurement points and the geothermal power plant, respectively.

Table 1 Characteristics of relative and absolute gravimeters.

	相対重力計	絶対重力計
測定原理	バネの長さ測定	自由落下物体の加速度測定
測定値	2 測点間の重力値の差	測点での絶対重力値
可搬・据置	可搬式	据置式・可搬式
測定時間	約 10 分／測点	約 1 時間／測点
価格	1500 万円前後	約 5000 万円 (A10) ～約 8000 万円 (FG5)

Fig. 8 は、ある地熱発電所地域において、運転を一時停止した際に地熱流体の生産・還元も同時に停止したため、停止前と停止期間中に精密重力測定を実施し、両者の差（停止期間中－停止前）の平面分布を示したものである。両測定の間隔は約 1 か月であり、地熱流体の生産・還元が停止したことで、生産エリア (**Fig. 8** の中央付近) では最大 40×10^{-6} gal 程度の重力値の増加が、逆に還元エリア (**Fig. 8** の左側付近) では 20×10^{-6} gal 程度の減少が、それぞれ観測された。重力値の増加は地熱貯留層内の熱水の水位上昇を、減少は水位低下を表していると考えられており、**Fig. 8** は、生産・還元停止により、地熱貯留層内の熱水の水位（つまり地熱流体の気相－液相境界）が、地熱流体の生産・還元を開始する前の状態へ戻る過程を捉えたものと解釈されている。

上記のとおり、我々が繰り返し精密重力測定で使用している重力計は相対重力計と絶対重力計の 2 種類である。両者の比較を **Table 1** にまとめているが、相対重力計の測定原理はバネばかりであり、2 測点間の重力値の差が測定できる。1 測点あたり 10 分程度で測定が終了し、オペレーター 1 人で持ち運びできるため機動性に優れている。しかしながら、センサーとなるバネは理想物体ではないため、同一地点に設置していても時間と共に少しずつ伸びてゆき、あたかも時間と共に重力が増加しているように見える。この現象はドリフトと呼ばれ、時間あたりの見かけの重力増加の割合（ドリフトレート）は現場での測定値の補正に使用されるため、研究室に置いている際にも常に自動で繰り返し測定を行い、ドリフトレートを算出しておく必要がある。これに対し、絶対重力計は重力加速度の定義どおり、真空の筒の中を自由落下する物体の加速度を測定するものであり、測点での重力の絶対値が測定できるが、1 測点あたり約 1 時間の測定時間を要し、可搬型であっても運搬には自動車が必要である。いずれも測定精度は現在のところ $1 \sim 10 \times 10^{-6}$ gal であり、我々が対象とする現象が引き起こす重力変動の大きさが測定装置の精度限界付近であることが、この手法を難しいものとしている主な原因である。

5. 低温工学・超電導学会への期待

この問題を解決する一つの可能性として、超伝導重力計の適用が挙げられる。ここで超伝導重力計の説明をするの

はまさに釈迦に説法であると思われるので極々簡単に触れる程度にとどめるが、現在製品化されている超伝導重力計は米国 GWR Instruments 社の iGrav SG Meter や Observatory SG Meter であり、超伝導コイルを流れる永久電流が作る磁場内で、マイスナー効果による磁気反発力によって浮上している Nb 製の試験球の位置変化を検出することで重力の変化を測定する、相対重力計である。センサー部は液体ヘリウム温度となっているため熱的なノイズが遮断され、前述の重力計より 3 桁以上高い 1×10^{-9} gal 程度の測定精度を持つ¹³⁾。

しかしながら、超伝導重力計を導入するためには幾つかの新たな問題が生じる。まず、測定精度が従来のもより 3 桁以上向上することから、これまでは考慮しなくても良かったファクターを、別途測定して厳密に考察する必要がある。例えば大気圧変化による重力変化は約 0.43×10^{-6} gal/hPa であり、また標高変化による重力変化は約 0.3086×10^{-6} gal/mm である¹⁴⁾。次に、**Fig. 9** に見られるように装置が大掛かりで据置型であり、バッテリー駆動は望めず、移動しての複数箇所での測定は非常に困難である。最後に、前述のバネ式相対重力計や絶対重力計に比較して非常に高価でありランニングコストも高い。

ここに記した 2 番目と 3 番目の問題点は我々ではどうしようもないが、2 番目については原理的及び機構的に考えてかなりの難題であるように思える。そこで、3 番目の問題点についてもう少し詳しく述べる。

Fig. 9 GWR Instruments TT-70 superconducting gravimeter.

超伝導重力計の導入を阻む最も大きな要因は、現在使用している相対重力計や絶対重力計との大きな価格差であり、加えてランニングコストの高さである。もし装置の簡素化等により測定精度を 100×10^{-9} gal 程度に落とすことで、超伝導重力計の価格がせめて絶対重力計程度にまで下がり、ランニングコストも下がるのであれば、導入のハードルはかなり低くなるものと考えられる。検出したい重力変化は $1 \sim 10 \times 10^{-6}$ gal であるため、 100×10^{-9} gal 程度の測定精度があれば確実に検出できるものと思われる。

実は、同様なことを現在の我々の測定でも行っている。絶対重力計は我々が使用している A10 よりも同社の FG5 絶対重力計の方が 1 桁ほど測定精度が高い。しかしながら、FG5 は据置型で A10 よりも高価であるため (Table 1)、現場でのハイブリッド測定に適している A10 を使用している。

超伝導重力計は据置型であるが、発電所構内は比較的電源が得やすいため、対象地域におけるこれまでの測定で重要と思われる付近にある建屋に超伝導重力計を設置して運転を開始し、その場所で絶対重力計により重力の絶対値を決定すれば、以降はこれまでよりも 1~2 桁精度の高い重力の経時変化を重力の絶対値の形で追うことができる。また、超伝導重力計を設置している場所を重力基準点にすれば、絶対重力計による約 1 時間の測定を待つことなく、重力基準点に行ったその場で重力の絶対値を知ることが可能となる。

我々のような応用研究の分野で超伝導重力計を広く用いることができるようになるために、低温工学・超電導学会の皆様には是非とも解決して頂きたいと強く願っている次第である。

6. おわりに

本解説では、わが国における地熱発電の現状と、地熱発電の持続可能性を担保する技術として、我々が研究を進めている繰り返し精密重力測定による地熱貯留層モニタリングについて紹介した。5 章で記したように、従来用いられている重力計より 3 桁も測定精度が高い超伝導重力計は、我々が進める研究において現在直面している問題の解決のためのブレークスルーになる可能性が高いと考えており、低温工学・超電導学会に大いに期待している。

本解説が、異分野交流のきっかけになれば幸いである。

参考文献

- 1) 早川正巳：「地球熱学」，東海大学出版会，東京 (1988) 9-19
- 2) 杉村 新，中村保夫，井田喜明 編：「図説地球科学」，岩波書店，東京 (1988) 8-19
- 3) F.D. Stacey and D.E. Loper: "Thermal history of the Earth: a corollary concerning non-linear mantle rheology," *Physics of the Earth and Planetary Interiors* **53** (1988) 167-174
- 4) The KamLAND Collaboration: "Partial radiogenic heat model for Earth revealed by geoneutrino measurements," *Nature Geoscience* **4** (2011) 647-651
- 5) 日本地熱学会 編：「地熱エネルギーハンドブック」，オーム社，東京 (2014) 842-854
- 6) 火力原子力発電技術協会 編：「地熱発電の現状と動向 2013 年」，火力原子力発電技術協会，東京 (2014) 7-10
- 7) H. Muraoka: "35 Geothermal energy" in "Handbook of Climate Change Mitigation," Springer, New York (2012) 1325-1353
- 8) R. Bertani; "Geothermal power generation in the world 2005-2010 update report," *Proceedings of World Geothermal Congress 2010* (2010) 41p
- 9) R. Bertani; "Geothermal power generation in the world 2010-2014 update report," *Proceedings of World Geothermal Congress 2015* (2015) 19p
- 10) 電気事業連合会統計委員会 編：「電気事業便覧 平成 26 年版」，日本電気協会，東京 (2014) 18-19
- 11) 浦島邦子，和田 潤：「地域イノベーションと震災復興に寄与する地熱エネルギーの利用」，*科学技術動向* **126** (2011) 13-28
- 12) R.G. Allis and T.M. Hunt: "Analysis of exploitation-induced gravity changes at Wairakei Geothermal Field," *Geophysics* **51** (1986) 1647-1660
- 13) 池田 博：「南極昭和基地での超伝導重力計による精密重力連続観測」，*物理探査ニュース* **7** (2010) 1-4
- 14) 物理探査学会 編：「物理探査ハンドブック 4」，物理探査学会，東京 (1998) 442-455

藤 光 康 宏 1961 年生。1984 年九州大学工学部資源工学科卒業。1989 年同大学院工学研究科博士後期課程（資源工学専攻）単位取得退学。同年(財)電力中央研究所勤務。1994 年九州大学工学部講師。1995 年同助教授。2013 年同大学院工学研究院教授。主に地熱工学に関する研究に従事。日本地熱学会，物理探査学会，日本火山学会，日本地球惑星科学連合，米国 Geothermal Research Council 会員。工学博士。

西 島 潤 1970 年生。1994 年九州大学工学部資源工学科卒業。1999 年同大学院工学研究科博士後期課程（資源工学専攻）修了。1999 年九州大学工学部助手。2000 年同大学工学研究院助教。主に地熱工学，測地学に関する研究に従事。日本地熱学会，日本測地学会，物理探査学会，日本地下水学会，American Geophysical Union 会員。博士（工学）。