

日本列島及びその周辺域の 地温勾配及び地殻熱流量データベース

田中 明子¹⁾・山野 誠²⁾・矢野 雄策³⁾・笹田 政克⁴⁾

1. はじめに

地球を含め固体惑星や衛星は、その生成以来約45億年が経過していますが、多量の熱を放出しています。地球がたどってきた進化とは、内部に蓄えられた熱をいかに外部に捨てるのかという“冷却の歴史”であるとも言えます。惑星の冷却過程は、初期の熱量、構成物質、熱輸送の機構などに依存します。最も単純には惑星の直径が大きいほど単位質量あたりの表面積が小さくなり、高温度が持続します。現在の地球は、その誕生時に獲得された重力エネルギーや地球内部で発生した放射壊変エネルギーを放出することによって、地震・火山活動やテクトニクスなどのエネルギーとしています。またこの際、エネルギーの一部は熱エネルギーとして放出しています。地球上で人目をひく熱エネルギー現象は、火山の噴火、温泉の湧出、地震などでしょう。しかし、これらによるエネルギー支出はそれぞれ 10^{12} 、 7×10^{10} 、 10^{10} Wです(水谷・渡部, 1978)。地球内部のエネルギーを最も大量に地表に運搬しているのは、固体熱伝導による地殻熱流量であり、その総量は 3×10^{13} Wです。地球内部の熱的性質を知る唯一の手がかりであり、最も基本的な観測量であるこの地殻熱流量(単位面積、単位時間あたりの熱流出量)と、地下の温度の地理的な分布を示すデータである地温勾配値が、今回出版された「数値地質図(CD-ROM) DGM P-5 日本列島及びその周辺域の地温勾配及び地殻熱流量データベース (<http://www.gsj.jp/Map/JP/dgm.htm>)」(田中ほか, 2004)におさめられていま

す(第1図)。このCD-ROMには、地温勾配値と地殻熱流量のデータだけではなく、地形陰影図の上にデータを重ねた図をおさめ、地形情報との関連やおおよその位置がわかるようにしました。これらのデータは、どのようにして得ることができるのでしょうか？ またそれぞれどのような場所で測定されているのでしょうか？ ここでは、CD-ROMにおさめられているデータについての説明と、利用法の一例を簡単にご紹介します。

2. 地温勾配値と地殻熱流量

2.1 地温勾配値

地表の温度は主に気温に支配されています。深さ20-30mまでは、気温の日変化・季節変化などの影響を受け変動します。さらに深い場所では、これらの影響がほとんどなくなり、地下深くなるにつれて温度は増加します。地中の温度が深さとともに増加する割合を“地温勾配”といいます。地温勾配値を得るためには、地表付近の各種の擾乱を避けるために数百m程度の坑井が必要とされています。近年日本付近においては、資源探査・防災などの調査・研究を目的にただけではなく、地熱・温泉開発などにともない、数多く深部ボーリングが行われ、地下の温度情報が蓄積されています。300m以深の1,937地点における坑井の温度データは1999年に当時の地質調査所が編集し、「300万分の1日本列島地温勾配図」として出版されています(矢野ほか, 1999)。このCD-ROMにおさめられている地温勾配値は、そのデータをもとにしています。そこ

1) 産総研 地質情報研究部門
2) 東京大学 地震研究所:
〒113-0032 東京都文京区弥生1-1-1
3) 産総研 地圏資源環境研究部門
4) 産総研 深部地質環境研究センター

キーワード: 地温勾配, 地殻熱流量, データベース, 日本列島, 地下温度構造



第1図 「数値地質図DGM P-5日本列島及びその周辺域の地温勾配及び地殻熱流量データベース」。

では各坑井データの坑底温度もしくは最高温度と“地表の基準温度(各坑井から最寄りの気象官署における平年気温が用いられています)”の差を掘削深度もしくは最高温度を記録した深度で割ることにより、地温勾配値としています。つまり、熱伝導のみではなく熱対流をも含んだ地中の温度の増加率です。このCD-ROMには、経度・緯度・地温勾配値・掘削深度がおさめられています。

2.2 地殻熱流量

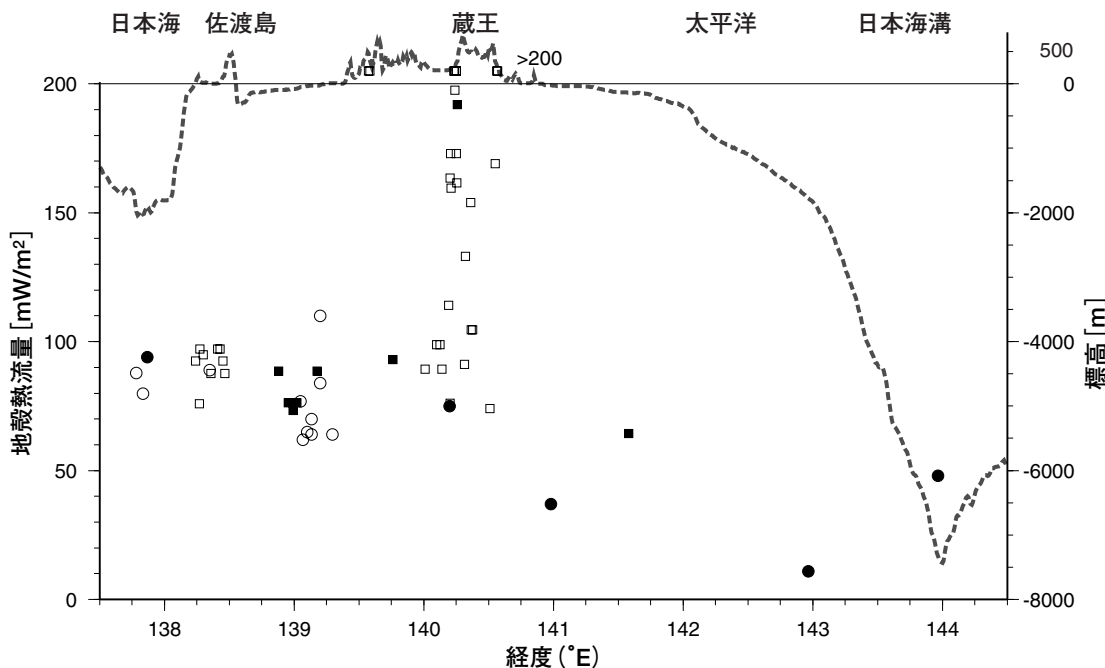
地球内部から地表に向かう熱エネルギーの流れである“地殻熱流量”の方が地温勾配値よりも地球内部の温度構造を知るためには重要です。この値は、温度勾配とその場の物質の熱伝導率の積として得られます。地殻熱流量は、地球内部から地表に向かって熱伝導により運ばれる熱のことで、火山や地熱地帯などで顕著に見られる物質の流動に伴って放出される熱量は含みません。深海底では温度環境が安定しているため、海底面から数m以内の測定で、地殻熱流量を求めることができます。具体的には、数個の精密な温度センサーの付いた長さ数mの槍を海底の堆積物に突き刺すことにより温度勾配を測定しています。温度勾配の測定と同時にあるいは海底の堆積物を採集し、熱伝導率を

測定することにより、地殻熱流量を求めることができます。他の目的で掘削された坑井を利用して測定を行う陸域よりは、ある意味において海域における測定の方が容易であることから、日本列島周辺では陸域よりも海域における測定データが多くなっています。ただし、浅海域では海底水温の変動が激しいため、熱流量を正しく測定することは困難です。

日本では最初の熱流量測定が1957年に行われ、以来精力的に測定が行われ、1970年頃までには日本列島付近の熱流量分布の大まかな特徴が明らかとなりました。山野らのグループは、0～60°N、120～160°Eの範囲について、発表されたデータや未公表データを収集し、コンパイルしてきました(山野ほか, 1997)。今回出版されたCD-ROMにおさめられた熱流量データベースは、このコンパイルを整理したもので、総データ数は3,184点です。データファイルに含まれる項目は、測点名、緯度・経度、標高または水深、温度測定点数と最大深度、温度勾配、熱伝導率とその測定数、熱流量、及び文献とその出版年です(詳しくは出版されたCD-ROMをご参照下さい)。

2.3 分布の特徴

日本列島付近では、プレートの沈み込みや火



第2図 38° Nに沿った日本海から佐渡島、蔵王を通り日本海溝へいたる断面図。○・●は地殻熱流量，□・■は地温勾配値から推定された地殻熱流量，破線は標高。黒で塗りつぶしたシンボルは、地殻熱流量・地温勾配値の中で、それぞれ最も深い温度測定点までの地表面または海底面からの深さが明記してあるもの、あるいは坑井の深さが1,500m以上あるもの。

山・地熱活動などにより、地温勾配・地殻熱流量の値は場所によって大きく変化します。陸上では、地温勾配値は地殻熱流量に比べて数多く分布し、空間分解能が高いのですが、地温勾配値は隣接したデータの間で大きな違いがあることもあり、ばらつきの大きな図になっています。一方地殻熱流量のデータの誤差は、一般には10～20%であると考えられていますが、水深が浅い海域におけるデータは、水温変動の影響を受けている可能性があり、取り扱いに注意を要します。いずれのデータも、1点におけるデータのみから地下温度構造を推定することは困難であり、周辺地域での測定値との整合性を確かめることが必要です。

前述のように地殻熱流量は温度勾配と熱伝導率の積で与えられるので、地温勾配値から地殻熱流量を推定し、測定されている地殻熱流量と比較することが可能です。ここでは、地温勾配値に、その測定点からもっとも近い地殻熱流量の測定点における熱伝導率をかけたものを、地温勾配から推定された地殻熱流量の値とします。第2図は、このように地温勾配から推定された地殻熱流量の値を、

地形と地殻熱流量の測定値とともに、137.5° E～144.5° Eまでの38° Nの緯度線沿いの鉛直断面図としてプロットしたものです。地形以外のデータは38° Nの緯度線からの距離が0.25°以下であるものの値を示しました。この東西断面図は、日本海から佐渡島を通り、蔵王を横切り、日本海溝へいたる地域です。この地域のような活動的な島弧では、冷たい海洋プレートの沈み込みによる構造を反映し、火山フロント付近(第2図では蔵王のあたり)を境界とし、海溝側と背弧側において熱構造が大きく変わっていることがわかります。この断面図からも、海域では地殻熱流量、陸域では地温勾配値の測定が多くなされていることが読み取れます。また陸上では、測定点は火山・地熱地帯に集中しており、一般的に高い値を示しますが、値のばらつきも大きいことがわかります。これは、地表に向かって運ばれる熱が、熱伝導のみではなく、火山のマグマの上昇や地下水の循環など、ローカルな現象の影響もを受けているものと考えられています。図中の黒で塗りつぶしたシンボルは、地殻熱流量・地温勾配値の中で、それぞれ最も深い温度測定点まで

の地表面または海底面からの深さが明記してあるもの、あるいは坑井の深さが1,500m以上あるものです。これらは、データの信頼性の一つの尺度になると考えられます。

3. おわりに

地下深部の広域的な温度構造は、地球科学の基礎データとして重要です。従来、地下の温度構造は主に地殻熱流量のデータに基づいて考察されてきました。日本列島周辺域においては浅海域を除けば、地殻熱流量のデータの空白域はありません。大局的な温度構造のパターンについては十分ですが、より詳細な情報を得るためには、現時点におけるデータのみでは不十分な地域も見られます。一方、最近坑井の温度データに基づく地温勾配の値もコンパイルされました。これは地殻熱流量のデータに比べれば、測定点はほぼ陸上に限定され、浅いところの温度場を反映しているにすぎませんが、測定点が多いという利点を持ちます。これら両者の特徴を理解の上、地質情報や他のデータとの重ね合わせや比較などにお使い下さい。

地殻・マントルなどを構成している岩石の物性値は温度に依存しているため、地下で起きる現象の多くが温度構造と密接に関係しています。たとえば、地殻内で地震が発生する深さには下限があり、地下の温度が高いと思われる地域ほど、その下限が浅いことがわかっています。他にも、地震波速度やその減衰、岩石の電気伝導度、マグマの発生、鉱物の変成など、さまざまな現象において温度条件が重要な要素となっています。つまり、今回出版されたデータは、地下の温度分布が推定されるという以外に、地球の中で何が起きているかを理解するためにも欠かせない情報です。また、地温勾配値・地殻熱流量の測定は、下記のような分野でも使われています。

3.1 気候変動の復元

地表面温度の変動は、地殻熱流量を測定する際には、その妨げになります。しかしこれは逆に、地下温度分布には過去の地表面温度変動の情報が含まれているととらえることもできます。つまり、詳しく温度分布を測定することにより、過去の地表面

温度を復元することが可能となります。この方法により過去数百年間の気候変動を復元する研究は、これまで主に北米やヨーロッパで行われてきましたが、最近では東アジアにおいても行われつつあります(山野ほか, 2003)。

3.2 惑星の熱史

惑星や衛星の現在の熱流量を知ることは、惑星や衛星の生成時から現在に至るまでの活動やその構成物質が何であるかを推定するための重要な制約量となりえます。またこれによって逆に惑星としての地球の特徴が明らかになり、過去や未来における状態を推定する手がかりになるかもしれません。地球以外の惑星・衛星においては、唯一月において地殻熱流量観測がなされています。アポロ15号(ハドレー地域)、17号(タウラス・リトロウ地域)において、熱流量は 18mW/m^2 という値が得られています(Langseth *et al.*, 1976)。この値は、地球の平均的熱流量の 82mW/m^2 に比べて約 $1/4$ ですが、月のサイズが地球の $1/4$ 以下であることを考慮すると、決して小さいわけではありません。なお、日本のLUNAR-A ミッションによっても、月の地殻熱流量観測が予定されています(<http://planeta.sci.isas.ac.jp/LUNAR-A/objective.html>)。

文 献

- Langseth, M. G., S. J. Keihm and K. Peters (1976): Revised lunar heat-flow values, Proc. Lunar Sci. Conf. 7th, 3143-3171.
- 水谷 仁・渡部暉彦 (1978): 地球熱学, 岩波講座地球科学 1 地球, 上田誠也・水谷仁編, 167-224, 岩波書店.
- 田中明子・山野 誠・矢野雄策・笹田政克 (2004): 日本列島及びその周辺域の地温勾配及び地殻熱流量データベース, 数値地質図 DGM P-5, 産業技術総合研究所 地質調査総合センター.
- 山野 誠・木下正高・山形尚司 (1997): 日本列島周辺海域の地殻熱流量分布, 地質ニュース, no.517, 12-19.
- 山野 誠・長尾年恭・カムチャッカ気候変動復元研究グループ (2003): 掘削孔内温度分布測定によるカムチャッカ半島における地表面温度変動の復元, 地球惑星科学関連学会 2003年合同大会予稿集 (http://www.jm.eps.s.u-tokyo.ac.jp/2003cd-rom/pdf/t032/t032-005_e.pdf).
- 矢野雄策・田中明子・高橋正明・大久保泰邦・笹田政克・梅田浩司・中司 昇 (1999): 300 万分の1日本列島地温勾配図, 地質調査所.

TANAKA Akiko, YAMANO Makoto, YANO Yusaku and SASADA Masakatsu (2004): Digital Geoscience Map P-5: Geothermal Gradient and Heat Flow Data in and around Japan.

< 受付: 2004年8月16日 >