

地殻熱流量広域調査についての一提案

～サーミスタ埋込み法～

上田誠也・野村拳一*・渡部暉彦

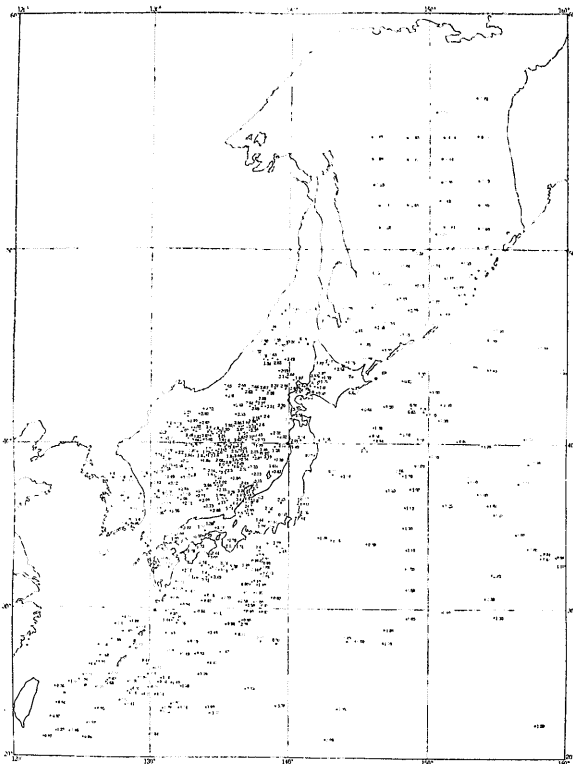
1. はし が き

地球内部から外界に向って流出する熱の量は 地殻熱流量とよばれ $Q=K \cdot \frac{\partial T}{\partial Z}$ によって定義される. ただし $\frac{\partial T}{\partial Z}$ は地温勾配 K は地層の熱伝導度である. Q の値を求めるには $\frac{\partial T}{\partial Z}$ と K を実測し その結果の積をとればよい. Q の値はふつうの場所では略 1.5×10^{-6} カロリー/cm²sec 程度である. Q の測定は陸地では 1938年頃から 海洋地域では 1950年頃からはじめられた. $\frac{\partial T}{\partial Z}$ の値について陸上では もっと古くから深い井戸 石油井などでの多くの実績があったが K の値の実測がほとんどなかったために 熱流量の値は正確には得られていなかった. (Q についての一一般的情報は Amer. Geophys. Union 発行の Geophysical Monograph No. 8 "Terrestrial Heat Flow [LEB, ed., 1965] を参照されるとよい.)

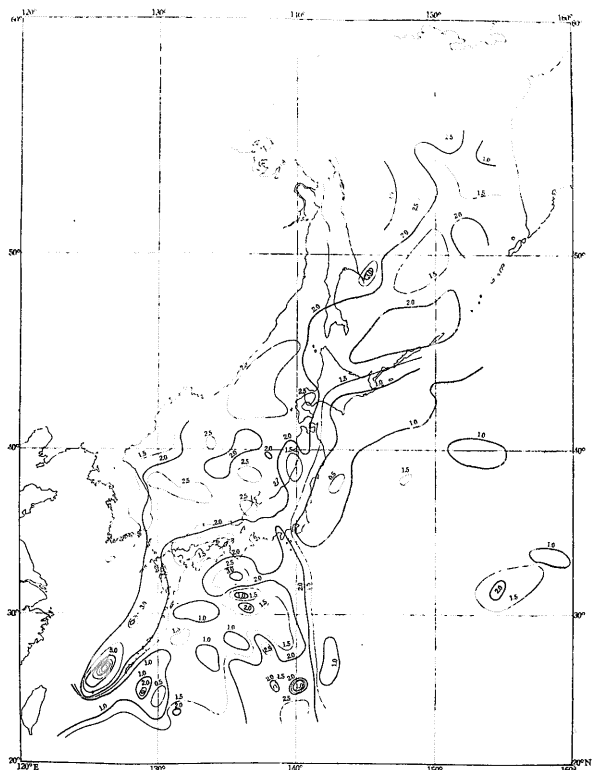
固体地球の諸現象をひきおこすエネルギーの源泉とし

ての熱エネルギーの重要性を思えば 地殻熱流量測定が諸現象の解明にとって欠くべからざるものであることは明らかであろう. 地殻熱流量実測の結果まず明らかにされたことは 上に述べた 1.5×10^{-6} カロリー/cm²・sec という平均値が 大陸でも海洋でも共通であるということであった. そしてこの熱流量が大陸地域の場合 地殻中での放射性発熱量によるものとしてほぼ解釈し得ること したがって 大陸地殻を欠く海洋地域での熱流量を解釈するためには 何かそれ以外の熱源や 伝熱機構を マントル中に想定する必要があることなどが推論されたのである (BULLARD, MAXWELL and REVELLE, 1956). (海洋地域での熱流量についての諸問題については 渡部 [1972] などを参照されるとよい.)

陸と海の平均値の問題もさることながら 地殻熱流量と造山作用ないしテクトニクスとの関係には興味深いものがある. 特に 現在活発なテクトニクスの場である



第1図a 日本及び周辺の熱流量データ (単位: 10^{-6} cal/cm²・sec) (UYEDA, 1972 より)



第2図b 日本及び周辺の熱流量をコンターで示したもの (UYEDA, 1972 より)

日本列島やその周辺海域においては然りである。この点は早くから着目され 日本列島及び周辺海域での熱流量の測定は世界に先んじて大いに進められてきており (UYEDA and HORAI, 1964, YASUI et al., 1968, VACQUIER et al., 1967, WATANABE et al., 1968) ほとんど教科書的ともいえる一応の分布が得られている(第1図 a b) 陸上測定は韓国にも及んでいるが これは韓国地質調査所とわが地質調査所および 東京大学との協同研究によるものである(MIZUTANI et al., 1970). 熱流量は太平洋特に海溝地域および 島弧の太平洋側において低く 島弧の大陸側および オホツク海・日本海・琉球トラフなどの縁海地域において高い。また 低熱流量地域と高熱流量地域との境界はほぼ “火山列のフロント” と一致している。このような様相と 太平洋プレートの島弧下への沈み込みというプレート・テクトニクス・モデルとの関連は 種々の討論をよんでいる (上田・杉村 1970)。

2. 地殻熱流量のデータはもっと必要である

第1図 a をみても明らかなように 陸上での測定はまだまだとても十分に多いとはいえない。むしろ 一歩進んだ議論を進めるには決定的に不足している。このことは全世界的にみても然りであるが ここでは日本および周辺に注目してゆこう。熱流量データの不足はたとえば 本邦における地熱エネルギー利用などという見地から その資源推定を行なったり 進んで 地熱エネルギー利用のための最有効地点を選定したりしようという場合には直ちに明らかとなる。金沢大学グループによる北陸地方 (KOHNO and KOBAYASHI, 1971) 北大グループによる北海道西部 (EHARA and YOKOYAMA, 1970) などの場合はかなりの密度の高い測定が行なわれているが それでも十分とはいえない。何といたっても基礎データは甚しく不十分なのである。われわれとしてはこのような目的のためには もう一桁ないし二桁密度の高い測定の分布がのぞましいと考える。たとえばグリーンタフ地域での各々の盆地の地下の熱的構造を知る必要がある場合には現在のデータではどうにもならない。データ不足が学問の進歩をはっきりとさまたげている典型的なケースなのである。陸上での地殻熱流量データの不足 (海洋地域に比べても) は数年来 世界的に改めて認識されるに至った。その故もあって ソビエトなどでの最近の努力は 目覚ましいものがあり 約 1,000 点にのぼる陸上測定の結果が発表されるに至った (たとえば LUBIMOVA et al., 1973)。これらのデータのもつ有用性が力をあらわしてくるのはこれからのことであろう。緒戦に多くのデータを出して 第1次的

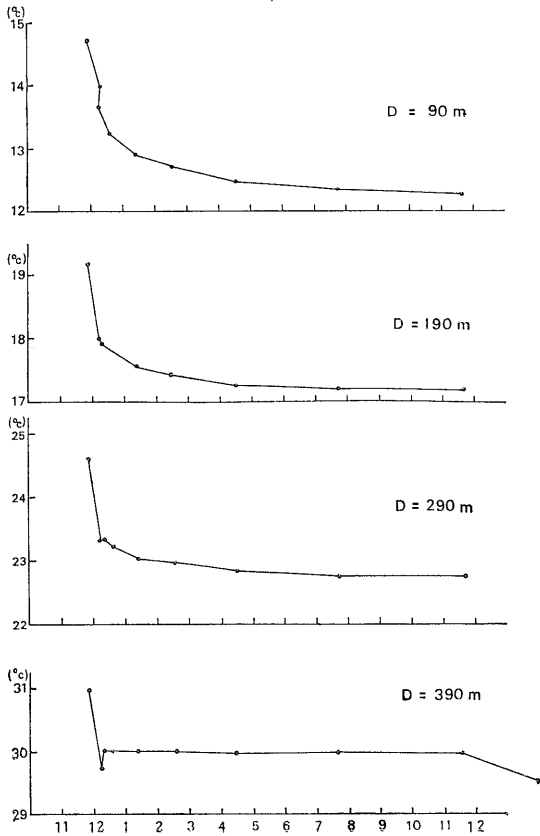
な熱的構造の解明に貢献したわが国も 次の時代の要請にこたえるのを怠ってはなるまいと思われるのである。何とかして陸上での測定を飛躍的に増大・充実せねばならない。

こんにち 世界の熱流量データを飛躍的に増大させる基本戦略として 筆者などが考えているのは以下の通りである。その第1は全世界で海陸を問わず広く行なわれている石油探査井での温度測定結果を利用することである。後述のように探査井での温度検層は真の地温を測っていない場合が多いし 熱伝導度測定のためのコアの入手が困難なことなど種々問題はあがるが これに対しては対策は立ち得るものと考えている。この点については別の機会に論じよう。この線を狙っている研究者は外国にも何人かいるので 近々その成果があらわれてくるであろう。一般に石油会社のもっている地球物理学的データは質・量共に莫大なものであるが 企業上の機密である場合が多く 惜しまれる。温度データも最近では熱流量と石油の存在との関係が深いことが示唆された (KLEMM, 1972) こともあって機密度が高くなっては困ることになる。わが国の関係筋からの理解とご協力を切望するものである。

基本戦略の第2は従来の海洋での測定法(渡部 1972)を用いることのできない浅い海(陸棚を含む)での測定法の開発である。広大な東支那海 ジャワ海などがその対象である。浅い海では海底水温に時間変化があるためふつうの方法が使えないので新しい方法の開発が必要なのであるが これも各国で進められている。われわれの方でもこの研究は進めており(野村 1971) 実用化も速くないと期待されている。基本戦略の第3が本稿の本題であるサーミスタ埋込み法による試錐孔内温度データの集積である。これは主として陸上でのデータ増大を目標とするものである。以下これを少々詳しく論じよう。

3. 陸上での熱流量測定における難点

陸上で熱流量を測定するには 地表およびその付近での温度擾乱の影響のない十分深所での $\frac{\partial T}{\partial z}$ を知らねばならない。このためにはよく知られているように 鉱山の坑道とか トンネルの中とかでの地温測定を行なうこともあるが もっとも有効なのは 深井(ボーリング孔)での地温測定である。ところが ここにも大きな困難があり それが陸上での熱流量測定数を増大させる上の大きなネックとなっている。それは 試錐孔の温度は掘削時の人工的発熱や 泥水の循環によって著しく擾乱をうけており 真の地温を回復するには相当の時間を要するということである (JAEGER, in LEE, 1965 参照)。



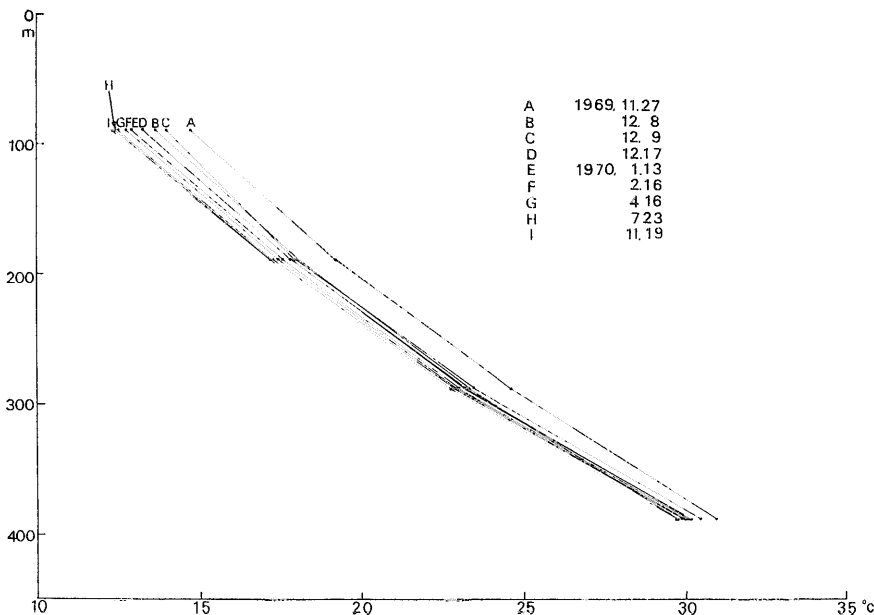
第2図a 青森県下北地域 44EASM-2 号試錐孔各深度での温度の時間変化(野村・渡部 1973より)

掘削法の種類によってこの回復時間は異なるものと推定されているが BULLARD (1947) によれば 極端な場合には掘削に要した時間の約10倍の時間がかかる場合もあるという。したがって 掘削終了後直ちに行なった測定結果の信頼度を評価するのはほとんど不可能に近い、といって 相当時間を経た後に測定することも 一般には不可能である。何故なら 通常は掘削終了後はケーシングパイプは抜き去られ 試錐孔は埋まってしまからである。地温勾配測定のためのみのためケーシングパイプを孔内に保持する(したがって試錐器材も現場に保持する)ことは経費的になりたないことであろう。

4. サーミスタ埋込み方式による地温勾配測定 の提案

上記の困難を打開する一つの試みとして 私共は サーミスタ埋込み法なるものを行なってみた(野村 渡部 1973)。すなわち 予め 十分に検定を行なった経年変化の少ないサーミスタ温度素子を必要各深度に付した多線ケーブルを 掘削終了時に 試錐孔の中に設置し しかる後にケーシングパイプを抜くのである。こうすれば 試錐孔は崩壊しても 温度素子は孔中に保持され あとは適時 現地におもむいて温度測定を行なえばよい、きわめて簡単なことである。温度素子とケーブルは消耗品と考える。

この方法を 私共は 金属鉱物探鉱促進事業団により 昭和44年度広域調査の一部として実施された青森県下北地域試錐(No. 44 EASM-2 川内町長浜)および 同じく山形県吉野地域試錐(No. 44 EAYY-3 高島町日



第2図b 44 EASM-2 号試錐孔内での温度の時間変化(野村 渡部 1973より)

向)を利用して頂いて試験的に実行してみた。詳しくは別項にゆずるが(野村 渡部 1973)その結果の例は第2図 a bに示す通りであって十分に信頼すべき地温勾配は得られたと思われる。すなわち掘削直後の温度は真の地温とは異なるが時間とともに真の値に近づくことがみられよう。ここに図示はしないが吉野では時間変化は北北に比べて著しく早くおさまった。何故そのように差が生ずるのかなどの事情も埋込み方式のより広汎な実行によって早晚明らかになるであろう。

このようなテスト結果にもとづいて私共は以下のような提案をしたいと考える。すなわち上記事業団をはじめ各鉱山会社などで探鉱試錐(深さ200メートル以上)を行なう場合には試錐の仕様の中に掘削終了時にサーミスタ感熱素子付きのケーブルを埋込みできれば試錐終了直後3ヶ月6ヶ月1年後などに温度測定を行なうことを含ませるといことである。孔深をかりに1,000mとし感熱素子を50mおきにつけるとして防水・防圧加工をしたこのようなケーブル・システムのコストは10万円を超えることはあるまい。ケーブル・システムは試錐孔一つについて一つづつ消耗品として失われてはゆがが試錐コストに比べてまた得られるインフォメーションに比べて全く問題にはならないだろう。しかしこのようなことも私共のように人手や予算の少ない大学研究者にとっては事実上実行は不可能である。一つや二つの試錐孔について行なうのであれば現段階での学問的意義は小さい。

もとより温度の時間変化の詳細を研究するには少数個の試錐について掘削終了後もっと短い時間間隔で測定を繰返すことになる。そのようなことは大学研究者でも実行できよう。しかしここで重要なことは現在ないし今後本邦で行なわれるすべての試錐孔について埋込み方式の地温測定を行ないその情報がたとえば地質調査所などのしかるべき方々のところに集積してゆけばわが国の地下の熱的構造はいわば自然に明らかになるということである。もしこの仕事のためのサーミスタつきケーブル・システムの製作とか埋込後の温度測定のくり返しなどが掘削関係の人々の手に負えぬとあればたとえば地質調査所の地熱担当部門などの指導の下に特別に一括して民間に請負わせて実行するのも合理的かもしれないだろう。試錐のために用いられる多大の費用と労力を思えばこれはまことに能率の高い経済的な情報入手法といわねばならない。地熱開発の促進が叫ばれる今日一刻も早くこのようなシステムが実行にうつされることを切望してやまない次第で

ある。このような試みは確かに世界で他に例をみないものであってまさにユニークな研究成果を生むにちがいない。御批判を乞う。

(筆者らは 東京大学地震研究所 *日鉱探開KK)

参 考 文 献

- BULLARD, E. C. (1947): The time necessary for a borehole to attain temperature equilibrium, *Monthly Notice Roy. Astron. Soc., Geophys. Suppl.*, 5, 127-130.
- BULLARD, E. C., A. E. MAXWELL, and R. REVELLE (1959): Heat Flow through the deep sea floor, *Advan. Geophys.*, 3., 153-181.
- EHARA, S. and I. YOKOYAMA, (1970): Terrestrial heat flow in Hokkaido (in Japanese), *Geophys. Bull. Hokkaido Univ.*, 24, 125-139.
- KLEMMER, H. D., (1972): Geothermal gradients, heat flow and hydrocarbon recovery, in Press, Princeton University Press.
- KOHNO, Y. and K. KOBAYASHI, (1970), Terrestrial heat flow in Hokuriku District, Central Japan, *Sci. Rep. Kanazawa Univ.*, XVI, 61-72.
- LEE, W. H. K., ed. (1965): "Terrestrial Heat Flow", *Geophys. Monogr.* 8, Amer. Geophys. Union, Washington D. C.
- LUBIMOVA, E. A., B. G. POLYAK, YA. B. SMIRROV, R. I. KITAS, F. V. FIRSOV, S. I. SERGIENKO and L. N. LIUSOVA (1973): Heat flow on the USSR territory, *Catalogue of data, 1964-1972.* (Soviet Geophys Comm. 発行)
- MIZUTANI, H., K. BABA, K. KOBAYASHI, C. C. CHAANG, C. H. LEE and Y. S. KANG, (1970): Heat flow in Korea, *Tectonophysics.*, 10, 183-203.
- 野村拳一 (1971): "Measurement of heat flow in shallow seas", 東京大学大学院修士論文。
- 野村拳一・渡部暉彦(1973): サーミスタ埋込法による地殻熱流量の測定 準備中。
- 上田誠也・杉村 新(1970): 弧状列島 岩波書店。
- UYEDA, S., and K. HORAI, (1964): Terrestrial heat flow in Japan, *J. Geophys. Res.*, 69, 2121-2141.
- UYEDA, S., (1972): Heat flow, The crust and upper mantle of the Japanese Area, Part 1, 96-105.
- WATANABE, T., D. EPP, S. UYEDA, M. LANGSETH and M. YASUI, (1970): Heat flow in the Philippine Sea, *Tectonophysics.*, 10, 205-224.
- VACQUIER, V., S. UYEDA, M. YASUI, J. SCLATER, C. CORRY and T. WATANABE, (1967): Heat flow measurements in the Northwestern Pacific, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 44, 1519-1535.
- 渡部暉彦(1972): 海洋底の熱流量 海底物理 海洋科学基礎講座 東海大学出版会。
- YASUI, M., T. KISHII, T. WATANABE, and S. UYEDA, (1968): Heat flow in the Sea of Japan, in *The Crust and Upper Mantle of the Pacific Area*, *Geophys. Monogr.* 12, Amer. Geophys. Union, Washington, D. C.