

論文内容の要旨

論文題名 長期温度計測による浅海域における地殻熱流量測定 - 南海トラフ沈み込み帯への適用 -

(Heat flow measurement in shallow seas through long-term temperature monitoring: Application to the Nankai subduction zone)

氏名：濱元栄起

地殻熱流量は、地下深部からの熱の流れを表し、これを測定することは、地下の温度構造を知る重要な手がかりとなる。これまで陸上や深海域で数多くの熱流量測定がおこなわれ、その分布があきらかにされてきた。いっぽう浅海域は、通常の熱流量の測定方法を用いることができず、信頼できる熱流量がほとんど得られていない。浅海域は、陸海の境界付近に位置しており、そこは、プレート境界に位置している場合が多い。そのためプレート間の活動に起因した興味深い地学現象が観察される。これらの諸現象の多くは、その場の温度にも大きく依存しており、地下の温度構造を推定することは、これらの諸現象を解明するうえで重要である。

海域における熱流量測定は、海底水温の安定している深海域において、海底堆積物の表層数 m の温度計測をおこなうことで測定されてきた。しかし、浅海域では、海底水温の変動が激しく、図 1 のようにこの変動が堆積物中の温度分布を乱すために、この方法を適用することができない。これまでも地表面温度の変動を考慮して熱流量を決定しようと試みた研究例はあるが、信頼できる熱流量を得るというには至っていない。そこで本研究では、長期温度計測を用い浅海域における熱流量測定の方法を確立することを研究の目的とした。

本研究では、浅海域における温度勾配、熱流量を測定するために次の 2 つの方法を考えた。ひとつは、海底堆積物の温度を数ヶ月から 1 年間計測して海底水温変動の影響を取り除いて温度勾配を決定する方法である。この測定のために海底堆積物の表層約 2m の温度プロファイルを長期温度計測する「自己浮上式海底熱流量計」を製作した(図 2)。そしてもうひとつは、海底水温の長期温度計測をおこない、

その測定終了時に温度プロファイルを測定して、これらのデータを組み合わせて解析を行う方法である。

第1の方法では、自己浮上式海底熱流量計を用いて南海トラフの陸側の四国沖の1地点と熊野沖の6地点で200日間を越える長期間のデータを測定した(図3, 図4A)。これらの測定データを用いて、各測定点において、海底水温変動が海底下へ熱拡散で伝播していることを確認した。さらに、もっとも浅いセンサーの温度変動が熱拡散で伝播したものととして、各センサーの深さにおける温度変動を計算する。そして実測値からこの計算値をひくことで、図4Bのように海底水温変動の影響を取り除くことができ、温度勾配と熱流量を求めることが可能となる。このような方法で、長期間のデータを測定できた7地点で温度勾配、熱流量を決定した。また、温度勾配を決定する際にインバージョンを用いた解析方法も考えて、この方法でも同一の結果を得ることができることを確認した。

さらにこの方法を用いるにあたって必要となる測定期間、およびプローブの長さを海底水温の長期データを用いて評価した。海底水温の長期計測は、海底水温変動の空間的なふるまいを調べるためにも重要であり、本研究では南海トラフ陸側の18地点でおこなった。このうち熊野沖の1地点では約3年の海底水温データを測定できた。そこでこの海底水温データを用いて、海底堆積物の仮想的な温度プロファイルを計算し、これを観測データと考えて評価をおこなった。その結果、長さ2mのプローブで300日間の温度計測をおこなえば、約20%程度、400日間の測定をおこなえば、約10%程度の誤差範囲内で温度勾配を決定できることが明らかになった。また長さ3mのプローブを用いれば、300日間の測定でも10%程度以内で温度勾配を決定することが可能である。

浅海域において熱流量を決定する第2の方法は、海底水温のみの長期温度計測をおこない、その測定終了時に堆積物中の温度プロファイルを測定し、これらのデータを組み合わせて解析を行う、というものである。海底水温の長期データがあれば、その影響を計算して測定されるべき温度プロファイルを求めることができる。この計算においては、温度勾配と温度プローブが貫入した深さが未知数となるので、実測した温度プロファイルをもっともよく説明するように未知数を決めることによって、温度勾配の値を得ることが可能である。この方法を用いて南海トラフ陸側の3地点で温度勾配、熱流量を決定することができた。さらに、上記の3年間の海底水温データを用いて、この方法を用いる際に必要な海底水温の測定期間の長さについても評価した。

一方、深海域については、四国東部沖(室戸沖)では、すでに詳細な熱流量分布が調べられているが、熊野沖ではほとんど調査がおこなわれていなかった。そこで本研究では、熊野沖の深海域でも熱流量測定を実施し、浅海域での測定結果、メタンハイドレートによるBSRの深度から推定した熱流量と合わせることで、熊野沖南海トラフ沈み込み帯の詳細な熱流量プロファイルをあきらかにすることができた。この結果、熊野沖、四国沖ともに海側から陸側にかけて熱流量が減少していく傾向であることがわかった。いっぽうトラフ底付近での熱流量に着目すると、室戸沖では、これまでの研究でプレートの年齢から推定されるよりもかなり高い熱流量であることが指摘されているが、熊野沖では、沈みこむプレートの年齢から推定される熱流量値と整合的である。

地下の温度構造モデルを考える場合、沈み込むプレートの年齢、沈み込みの速度、陸側プレート内の放射性発熱量、境界面における摩擦発熱がその温度分布を決める主要要素となる。とくに、放射性発熱

量の分布と境界面における摩擦発熱については、他の観測によって知ることが難しく未知のパラメータとなる。これまで熊野沖や室戸沖で、温度構造モデルの推定をおこなった例として Wang et al [1995] や Hyndman et al [1995] をあげることができる。これらの研究当時は、浅海域および変形フロントから陸側にかけてのデータがなかったため、放射性発熱と摩擦発熱の値をあらかじめ与えざるをえなかった。しかし本研究では、浅海域および深海域について熱流量を測定できたので、これを条件としてこれらのパラメータを制約することが可能となる。

そこで放射性発熱量とプレート境界面の摩擦発熱(有効摩擦係数)を未知のパラメータとして、二次元有限要素法を用いて定常状態を仮定し、計算をおこなった。この結果、放射性発熱量の分布と境界面での摩擦発熱(有効摩擦係数)のいくつかの組み合わせを考えると、表面の熱流量の実測値をよく説明できることを示した。一意的に値を決定するためには、さらにどちらかのパラメータを制約する必要がある。熊野沖については、陸側付加体で放射性発熱量を測定したという研究はないが、室戸沖では、深海掘削調査により陸側付加体の法性発熱量が測定されているので、ここでは、熊野沖における放射性発熱量は室戸沖と同じであると仮定する。そうすると有効摩擦係数は、0.05 となり、他の沈み込み帯と同様に低い値である。このパラメータを用いた場合、モデルによる計算値は、トラフ側から陸側にかけて表面の熱流量の測定値を整合的に説明できる(図5)。室戸沖では、変形フロントから 20km 離れたあたりから陸側にかけてモデルによる計算値と測定値は、整合的である。しかし変形フロントから約 20km までは、測定値がモデル計算による値よりも最大で2倍以上も高いということが明らかになった。室戸沖の場合、有効摩擦係数は、0 となり、プレート境界面における摩擦は熊野沖と同様に小さい。

このように本研究では、浅海域、深海域における熱流量を測定することができた。これらのデータと従来からある BSR の深度から推定した熱流量データを合わせることで、地下の温度構造を推定するための制約条件としても適用できることを示した。

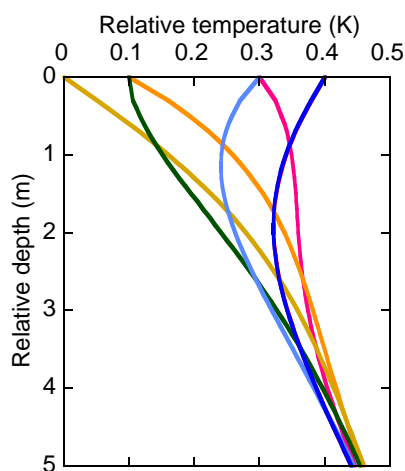


図1 海底水温変動がある場合の温度プロファイル

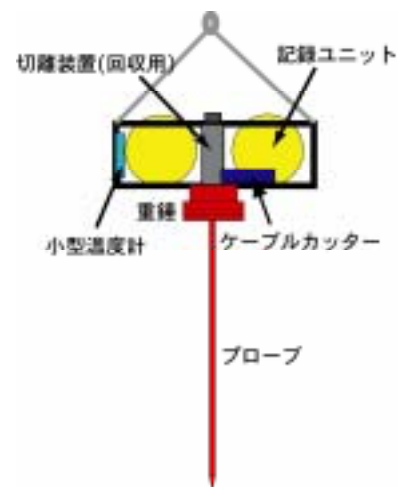


図2 自己浮上式海底熱流量計の模式図。

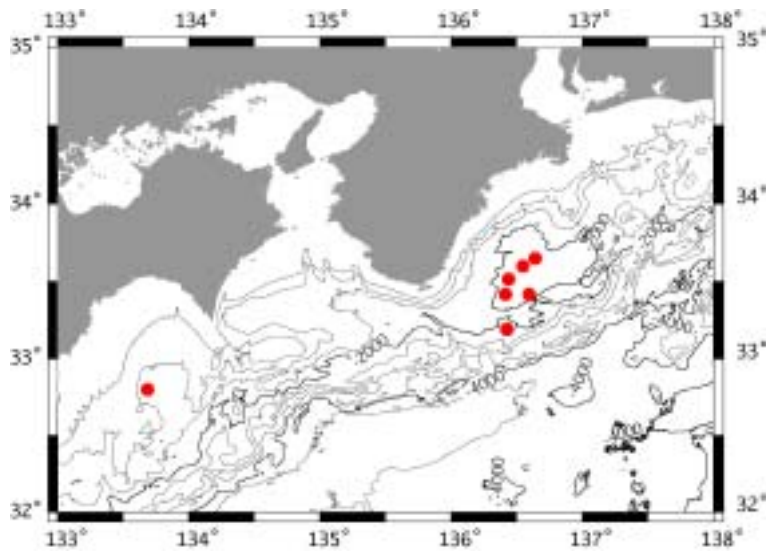


図3 自己浮上式海底熱流量計の測定点。(水深:1040~2164m)

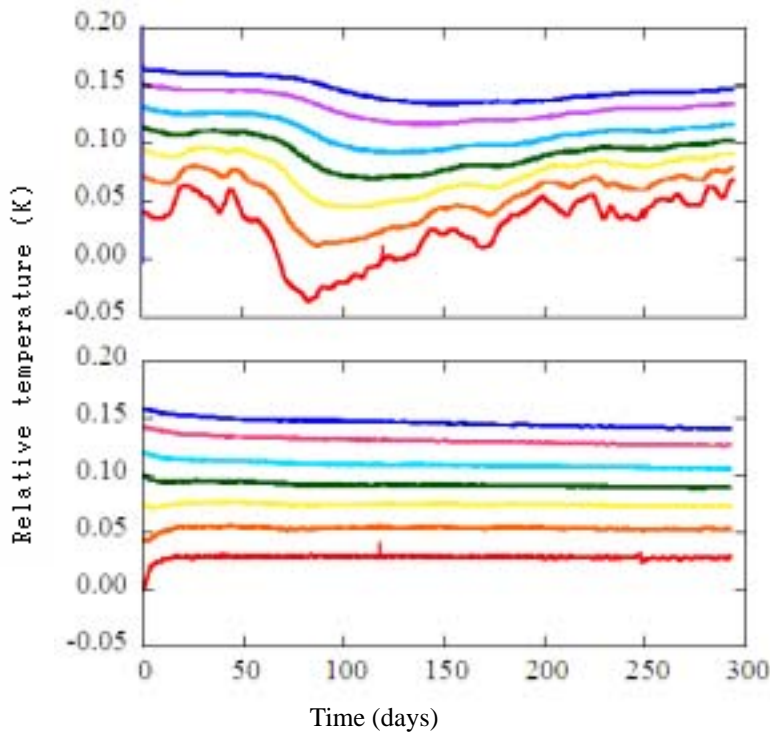


図4A 熊野沖で計測した堆積物中の温度データ。

赤線:海底堆積物の上部のセンサー
青線:もっとも深いセンサーである。

図4B 海底水温変動の影響を取り除いたもの

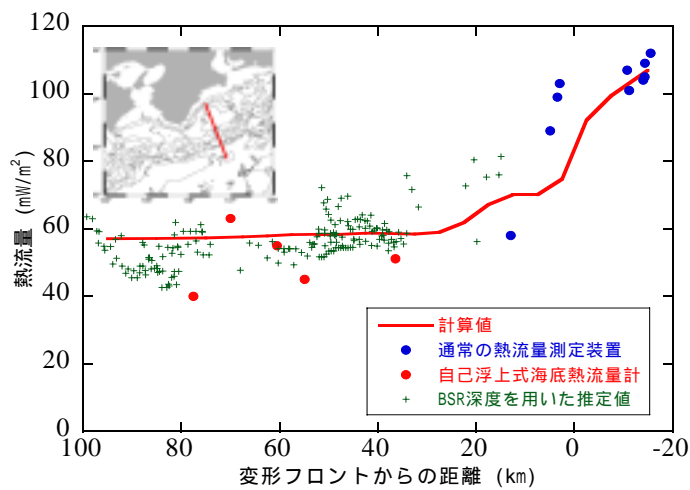


図5 熊野沖の熱流量プロファイル。赤線は、沈み込み帯の温度構造モデルの計算値