



Numerical modeling of temperature and flow fields associated with subduction of oceanic plates in central Japan and Mexico – considerations on the relationship between...

末永, 伸明

(Degree)

博士 (理学)

(Date of Degree)

2016-03-25

(Date of Publication)

2017-03-01

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第6611号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1006611>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



(別紙様式 3)

論文内容の要旨

氏名 末永 伸明

専攻 地球惑星科学専攻

論文題目 (外国語の場合は、その和訳を併記すること。)

Numerical modeling of temperature and flow fields associated with subduction of oceanic plates in central Japan and Mexico - considerations on the relationship between calculated temperature fields and occurrences of interplate earthquakes

中部日本とメキシコにおけるプレートの沈み込みに伴う温度場・流れ場の数値モデリング ～プレート間地震との関連性の考察

指導教員 吉岡 祥一

Abstract

In this study, we performed numerical simulations of temperature distribution at the plate boundary, and estimated the dehydration process of hydrated compound in the subducting plate in central Japan and Mexico.

In part I, We set up three profiles passing through the eastern parts of the Kii Peninsula and the Lake Hamana, where many LFEs occur, and around Ise Bay, where there is a seismic gap. As a result, The most suitable value of the pore pressure ratio at the plate boundary was estimated to be 0.97. The temperatures of the upper surface of the PHS plate, where many LFEs occur and a seismic gap exists around the Ise Bay were both estimated to be between 440°C and 480°C. In addition, several normal fault earthquakes were identified within the subducting PHS plate near the seismic gap. This indicates that a tensile stress acting upon near the upper surface of the subducting PHS plate in the east-northeast-west-southwest direction may be the cause of the seismic gap.

In part II, we discussed the relationships among temperature, dehydration, and a seismogenic zone of a megathrust earthquake, and occurrence of deep low-frequency earthquakes (LFEs) and a slow slip event (SSE) in the Tokai district, central Japan. A strongly coupled region for an

expected megathrust Tokai earthquake was identified based on temperature conditions at the plate boundary. The depth range of the seismogenic zone for the megathrust earthquake is 8–22 km, narrowing toward the east. Temperatures of the upper surface of the Philippine Sea plate, where the Tokai SSE occurred, were estimated to be ranging from 350 °C to 410 °C. Therefore, the Tokai SSE is considered to have occurred at the transition zone between unstable and stable slidings. Temperatures of the upper surface of the Philippine Sea plate, where LFEs occur, were estimated to be ranging from 450 °C to 500 °C. Therefore, LFEs is considered to occur near the down-dip limit of the transition zone.

In part III, we calculated temperature fields and dehydration process in southern Mexico by using three-dimensional thermal modeling, and discussed about relations among temperature, dehydration, and occurrence of several seismic events. We investigate parameter dependency by changing several parameters. As a result, pore pressure ratio has great influence to interplate temperature and dehydration process. When pore pressure ratio is set to be 0.95, interplate temperature above the flat slab is about 150 °C higher than that with no frictional heating model. Then, we decided best suitable model, comparing calculated heat flow with observed one. Pore pressure ratio became to be 0.96. As a result, we found that NVT

above the flat slab occur at temperature range of 600 °C to 800 °C.

氏名	末永 伸明		
論文題目	Numerical modeling of temperature and flow fields associated with subduction of oceanic plates in central Japan and Mexico - considerations on the relationship between calculated temperature fields and occurrences of interplate earthquakes (中部日本とメキシコにおけるプレートの沈み込みに伴う温度場・流れ場の数値モデリング～プレート間地震との関連性の考察～)		
審査委員	区分	職名	氏名
	主査	教授	吉岡 祥一
	副査	教授	兵頭 政幸
	副査	准教授	杉岡 裕子
	副査		
			印
要 旨			
<p>申請者は、中部日本とメキシコの沈み込み帯において、海洋プレートの沈み込みに伴う温度場、及び流れ場の2次元及び3次元数値計算を行った。観測された地殻熱流量データと数値計算から得られた地殻熱流量との残差の二乗和が最も小さくなるように、未知パラメータの値をグリッドサーチで求め、現実的な温度構造モデルを構築し、相図を用いて含水鉱物の相転移に伴う脱水量分布も求めた。このような結果に基づき、温度場、脱水量分布と、海溝型巨大地震、スロースリップイベント、深部低周波地震、非火山性微動などプレート境界で発生する地震イベントとの関連性に関する議論を行った。</p> <p>第1章では、中部日本において、南海トラフから沈み込むフィリピン海プレートに関するモデリングを行った。2次元箱型熱対流モデルを用い、紀伊半島東部、伊勢湾、渥美半島を通り、フィリピン海プレートの沈み込み方向に平行な3本の測線に沿った温度場、流れ場の数値計算を行った。四国西部から中部日本にかけては深部低周波地震(LFE)と呼ばれるプレート境界面付近で発生する地震が帯状に連なって観測されているが、伊勢湾付近ではその分布が途切れている領域が存在する。伊勢湾周辺では沈み込むフィリピン海プレートの形状が凸型になっており、周囲に比べ沈み込み角が小さくなっている。ここでは、伊勢湾付近でなぜLFEの空白域が存在しているのかについての議論を主題とし、その東西のLFEが集中して発生する領域と比べ、異なっている条件を調べた。具体的には、プレート境界面付近の脱水量場について、フィリピン海プレート上部の海洋地殻の含水MORBの脱水量を計算し、LFEの震源域と比較した。その結果、LFEの空白域の方が、LFEの集中域よりプレート境界面での温度はやや高くなるという結果が得られたが、LFEの発生の有無に関わる有意な差を見出すことはできなかった。また、LFEの空白域と集中域のどちらの領域においても含水MORBの相転移に伴う顕著な脱水が認められ、両者の脱水量の空間分布にも大きな違いはみられなかった。そこで、第3章の要因として、プレート境界面付近の脱水量場について考えてみた。LFEの空白域周辺において、プレート境界面付近で観測された地震のメカニズム解をプロットしてみると、正断層型の地震がいくつか発生しており、凸型に隆起したプレート境界面付近では東西方向への引張り応力、沈み込むフィリピン海プレート内部では同方向の圧縮応力が働いていることが示唆される。そこで、粘性流体中の弾性体のたわみ問題を適用し、伊勢湾周辺における凸型のフィリピン海プレートの形状が、東西方向の圧縮応力によるものとして、その圧縮応力を見積もったところ、その値はプレートがせん断破壊を起こすために必要な値として十分であり、伊勢湾周辺のLFEの空白域ではプレートのせん断破壊による亀裂が生じており、これがLFEの空白域が生じている一因と結論づけた。</p> <p>第2章では、東海地方において、駿河トラフから沈み込むフィリピン海プレートに関する数値モデリングを行った。使用したモデルは第1章と同様、2次元箱型熱対流モデルである。観測された駿河トラフ付近の低地殻熱流量を説明するため、沈み込むフィリピン海プレート上面に薄い伝導層を設定し、マンツルの流れがマンツルウェッジのコーナー部分にあたるフィリピン海プレートの浅部領域に入り込まないようにした。第1章と同様、東海地方において駿河トラフを端点とする3本の平行な測線を設定し、それぞれの測線に沿った温度場と流れ場の数値計算を行った。本章では、数値計算で得られたプレート境界面の温度場、及びフィリピン海プレートの海洋地殻の含水MORBの相転移に伴う脱水量の空間変化を用いて、海溝型巨大地震の地震発生領域、浜名湖周辺で発生した東海スロースリップイベント(SSE)の発生要因、LFEの震源が第1章の対象領域である中部日本に比べ深い位置に分布している要因、について研究を行った。第1章と同様、数値計算で得られた温度構造の妥当性は、地殻熱流量の観測データと計算値のフィッティングにより行った。その結果、プレート境界面の温度から見積もった地震発生領域は、プレート境界</p>			

氏名	末永 伸明		
<p>面の深さが8km~22kmの領域となり、その領域は東へ行くにつれて徐々に狭くなる傾向がみられた。東海SSEの発生域でのプレート境界面の温度は350℃~450℃と見積もられ、これはプレート境界のすべりが不安定すべりから安定すべりへと遷移する領域に対応していると考えた。また、この領域では、海洋地殻の含水MORBの青色片岩から緑色片岩への相転移に伴う顕著な脱水もみられ、東海SSEの発生要因についてはプレート境界面の温度場、及び海洋地殻からの脱水の両者が関与していると考えた。LFEの発生域でのプレート境界面の温度は450℃~500℃と見積もられ、これは不安定すべりから安定すべりへの遷移領域の下限付近に対応する温度と考えられる。また、3本の測線のうち最も西側の測線に沿ったLFEの発生域では含水MORBが青色片岩から緑色片岩へと相転移しており、海洋地殻からの脱水が推察されたが、他の2本の測線に沿ったLFEの発生域では顕著な脱水はみられず、地震波トモグラフィによるVp/Vs比の空間分布からも水の存在が示唆されるような領域はプレート境界面付近には認められなかった。そのため、第1章で得られたLFEの発生域でのプレート境界面の温度場(440℃~480℃)と併せて考えると、LFEの発生には、プレート上部の含水MORBの脱水より、プレート境界面の温度条件がより大きな制約を与えており、LFEはプレート境界でのすべりの遷移領域の下限付近で起こっていると考えた。また、LFEの震源の深さが中部日本より東海地方の方が深くなっているのは、同じ深さにおけるプレート境界面の温度が中部日本の方が東海地方より高いためと考えた。この温度差が生じる一因として、プレート境界面における摩擦熱の多寡を決定する間隙水圧比の値が地域によって異なっている可能性が挙げられる。</p> <p>第3章では、西南メキシコにおいて、中央アメリカ海溝から沈み込むココスプレートに関する数値モデリングを行った。西南メキシコでは、プレート境界面までの深さが40km~50kmの領域に"フラットスラブ"とよばれるプレートの沈み込み角が極端に小さい領域が広がっており、その付近では大規模なSSEや非火山性微動(NVT)が観測されている。3次元箱型熱対流モデルを用い、海溝軸方向に600km、それに直交した方向に600km、深さ方向に300kmのモデルを、1911年以降海溝型巨大地震が発生していないゲレロギャップとその内陸側に位置するSSEの発生領域を含む領域に設け、温度場及び流れ場の数値計算を行った。本章では、数値計算で得られたプレート境界面での温度、及びココスプレート内部の含水鉱物の脱水量を用いて、過去の海溝型巨大地震の震源域におけるプレート境界面の温度、SSEの発生域でのプレート境界面の温度、及びココスプレート内部の含水鉱物の脱水量、NVTの発生域におけるプレート境界面の温度、及びココスプレート内部の含水鉱物の脱水量、の見積もりを行った。脱水量については、第1章、第2章で用いた海洋地殻の含水MORBに加え、上部マンツルの主要成分の一つである輝石かんらん岩を海洋プレート内部の含水鉱物とし、ココスプレート内部からの脱水量を見積もった。得られた温度構造の妥当性の評価には、第1章、第2章と同様、地殻熱流量のデータを用いた。地表付近の地殻熱流量の観測データのみでは十分なデータ量を確保できなかったため、キュリー点深度分布から得られた地殻熱流量データも観測データに加え、計算値との比較することで、最適モデルの決定を行った。その結果、過去の海溝型巨大地震の震源域でのプレート境界面の温度は100℃~400℃となり、先行研究で見積もられている150℃~350℃の温度範囲と概ね調和的な結果となった。SSEの発生域におけるプレート境界面の温度は500℃~700℃と見積もられ、これは第2章のSSEの発生域で見積もられた温度より100℃以上高くなった。脱水量については、SSE発生域付近では2wt%を超える顕著な脱水がみられた。NVT発生域におけるプレート境界面の温度は650℃~850℃と見積もられた。これも第1章、第2章で見積もられたLFEの発生域のプレート境界面の温度と比較すると100℃以上高い結果となった。また、NVT発生域付近においても2wt%を超える顕著な脱水がみられた。また、ココスプレート内部からの脱水量が最大(約5wt%)となる領域はフラットスラブの領域と重なっており、海溝からフラットスラブ領域までの間に全体の約75%の水が脱水によって失われていることがわかった。これはフラットスラブ領域で全体の約50%の水が脱水によって失われ、そのことがNVTの発生に寄与しているという先行研究における主張と調和的な結果となった。第1章、第2章と本章でSSEやNVT発生域におけるプレート境界面の温度の見積もりが異なっていることについては、最適モデルにおける地殻熱流量のフィッティングが、第3章では第1章、第2章と比べ、精度が低いことがその要因の1つとして挙げられる。最適モデルを決定する際に変化させる未知パラメータの見直し、過去から現在にかけての沈み込み史を考慮したより現実的なモデルの構築、沈み込む海洋プレート上面に帯水層を設定し、熱水循環を考慮した新たな熱源の導入したモデルの改善を考慮する、といったことが今後の研究の課題である。</p> <p>以上のように、本研究は、地殻熱流量のデータを用いてプレート境界での温度構造を拘束し、中部日本とメキシコにおいて、海洋プレートの沈み込みに伴う温度場・流れ場を数値シミュレーションによって求め、含水鉱物の脱水量分布を求めた。さらに、両地域における海溝型巨大地震、SSE、LFE、NVTと温度場、脱水量の関連性を定量的に示しており、重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。よって、学位申請者の末永伸明は、博士(理学)の学位を得る資格があると認める。</p>			