

氏名・(本籍)	かさ 笠	はら 原	けい 敬	じ 司
学位の種類	理	学	博	士
学位記番号	理	第	887	号
学位授与年月日	昭和63年6月29日			
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当			
最終学歴	昭和46年3月 東北大学大学院理学研究科 (修士課程)地球物理学専攻修了			
学位論文題目	プレートが三重会合する関東・東海地方の地殻活動様式			
論文審査委員	(主査) 教授 高木章雄			
			教授 平澤朋郎	
			教授 浜口博之	
			助教授 長谷川昭	

論 文 目 次

1. はじめに
2. 関東・東海地域のプレートテクトニクスに関する研究の概観
3. 関東・東海地域の地震活動
 - 3.1 関東・東海地域の微小地震観測
 - 3.2 微小地震の震源決定
 - 3.2.1 P波速度構造
 - 3.2.2 震源決定法の選択
 - 3.2.3 S波速度構造
 - 3.2.4 観測データの重み
 - 3.3 震源分布および発震機構
 - 3.3.1 発破の弁別および震源決定精度
 - 3.3.2 地震活動の概観

- 3.3.3 震源の地理的分布のいくつかの特徴
- 3.3.4 震源の垂直断面が示すプレート境界
- 3.4 関東地方の上部マントルの地震と Q 構造
- 4. 関東・東海地域のテクトニクスを統一的に説明するプレートモデル
 - 4.1 統一モデルの提示
 - 4.2 統一モデルから説明される地震の発生様式
 - 4.3 1923年関東地震について
 - 4.4 地震活動・地殻活動の移動
 - 4.5 関東造盆地運動
- 5. 統一モデルからみた主な歴史地震
 - 5.1 安政江戸地震
 - 5.2 元禄地震
 - 5.3 明応地震・慶長地震
 - 5.4 関東・東海地域の歴史地震の時空間分布
- 6. プレート境界に関する諸問題
 - 6.1 日本海溝と伊豆・小笠原海溝の区分
 - 6.2 相模トラフ
 - 6.3 駿河トラフの役割
 - 6.4 伊豆半島付近のプレート境界
 - 6.5 フィリピン海プレート北端部におけるプレート境界
- 7. おわりに
- 謝辞
- 参考文献

論文内容要旨

1. はじめに

政治・経済の重要な機能が集中している関東・東海地域は、過去に於いて大きな震災を被ってきた。地震による人命および財産の損失を大幅に軽減するように、大地震の発生を事前に予知し、予知情報を的確に活用することは、当地域の重要な課題となっている。関東・東海地域では、太平洋、フィリピン海、ユーラシアの3つのプレートが会合し、それらの相互作用により、地震が活発に起きていると考えられている。しかし、それらの相互作用は単純ではなく、いまだ、その全体像が解明されるにいたっていない。ここでは、微小地震の震源分布を基底にして、3つのプレートの立体的位置関係を明らかにし、地震発生のダイナミズムを解明していきたい。

2. 関東・東海地域のプレートテクトニクスに関する研究の概観

当地方は、太平洋、フィリピン海、ユーラシアの3つプレートによって構成されており、トリプルジャンクションの安定性と言うプレートテクトニクスの、第一級の問題を含有している。この為、プレートテクトニクスの黎明期より、様々な研究がなされ、その安定性をめぐる運動論が展開された。プレートテクトニクスの立場からも、関東・東海地方の大変活動的な、地震発生様式の説明が試みはじめられている。しかし、これらの議論は、あるものは地形・地質学的に、あるものは地震学的な視点を中心とした議論であり、当地の地震活動、地殻変動、テクトニクス等の事実を、統一的に説明するにはいたっていない。

3. 関東・東海地域の地震活動

関東・東海地方、とりわけ関東地方は関東平野を覆う最大4 kmの厚みをもつ軟弱な堆積層と、その上に発達した都市域から生ずる人為的雑微動に妨げられ、平野部での高感度の地震観測は不可能であった。関東平野の先第三紀の堅い岩盤に達する国立防災科学技術センターの3000m級の深井戸による地震観測は、地震活動の研究に、新たな局面をもたらし、震源決定精度を飛躍的に向上させ、従来知られていた震源分布等とは異なる東京直下の極浅発地震の活動を明らかにした。一方、東海地方も、東海地震発生の可能性を指摘(石橋, 1976)を契機に、観測網の大幅な整備が、国立防災科学技術センター等により行われ、多量、良質の観測データが蓄積するようになった。本論では、このように、最近急速に整備の進んだ、国立防災科学技術センターや、東京大学地震研究所の地震観測のデータに基づく震源分布、発震機構等を基礎的資料として当地のテクトニクスの議論を展開するものであるが、本章においては、基礎的資料の導出および、得られた基礎的資料の概観を行う。

このような高精度の地震観測データに対応する震源決定法の検討をおこなった。まず、P波速度構造について、当地における最適モデルを得る事を試み、関東・東海地域で行われた爆破地

震のデータを満たす速度構造を得た。この速度構造は、当地の微小地震で使われているモデルに最近のデータを加え改善したものであり、全国的に使われている気象庁のモデルとは、モホ面迄の深さを32kmとし、上部マントルについては速度の変曲点のない滑らかな速度分布を与えている点が異なっている。実際得られた観測データの組から、P波、P波とS波を使う震源決定結果の優劣を論じた。これまでは、関東地方では殆ど行われなかった後者の震源決定が、解の安定性に優れていることが分った。 V_p/V_s 比についても、いくつかの提言されている値に従って、同様に観測データの組から震源決定を試み、震源分布の傾向をみた。提言されている V_p/V_s 比の値の範囲であれば、震源分布に大きな差異が現れないことが判明した。

以上の手続きを経て得られた震源決定法を用いて約20000個の地震の震源の再決定を行った。こうして得られた震源分布の特徴は、様々な研究者によって得られた結果と調和的であるが、深層観測、或いは東海地方に跨がった稠密な観測網により、格段に精度が向上し、また、関東・東海を統一的に覆うものとなっている。例えば、関東地方や伊豆半島から駿河湾付近の極浅発の微小地震が、確実に存在すること、千葉県中部の深さ70km付近の地震活動の震源分布が、面状分布を示す事などを、挙げる事ができる。これらのことは、テクトニクスや、断層運動の議論を発展させる基本的な材料となっている。

まず、これらの震源分布を、地理的、垂直分布図により示し、既に知られている太平洋プレート、フィリピン海プレートについての議論を行った。海溝から沈み込むフィリピン海プレートに発生する地震が、どのような深さに在るか、その地震発生機構などを含めた活動様式の連続性等を調べ、その形態を推定した。駿河トラフに直交する震源断面図は、来たるべき東海地震の枠組みを、微小地震によってはじめて描き出したものであった(図1)。関東地方で、地震活動度の高く、地震の巣の一つと知られる千葉県中部の深さ70km付近の地震活動の型は、低角逆断層であることを論じ、太平洋、フィリピン海両方プレートの相互作用(スラスト)によって発生していることを示した(図2)。このように、関東・東海地域で発生する地震は、太平洋、フィリピン海、ユーラシアの3つのプレートの相互作用によって、明快に説明ができる事を示した。

4. 関東・東海地域のテクトニクスを統一的に説明するプレートモデル

以上の成果や、テクトニクスに関するこれまでの知見を総合して、“関東・東海地域のテクトニクスを統一的に説明するプレートモデル”(略称、統一モデル)を提出した(図3)。統一モデルの概要は、以下に述べる通りである。ユーラシアプレートに対し、北西進するフィリピン海プレートの北端部は、伊豆半島付近で、東翼(I)、中央部(II)、西翼(III)に、分断されている。IとIIの境界は、丹那断層に代表される南北走向の左ずれ断層群(SL)、IIとIIIの境界は、石廊崎断層に代表される北西-南東走向の右ずれ断層群(SR)である。両者とも1本の境界で境されているのではなく、幅を持った遷移帯によって隔てられていることになる。SR,SL

の存在区域（伊豆半島～伊豆七島北部）を“伊豆シアゾーン”と呼ぶことにする。フィリピン海プレートの東翼部は、SL によって関東地方の地下に送り込まれる。東翼の北限は埼玉県北部～茨城県中部である。東端は、その下面が太平洋プレートと接触しており茨城県中部から千葉県中部に至る東西主圧力、低角逆断層の発震機構を持つ深さ70～90kmの地震活動の帯状分布がプレート接触面を示している。中央部は、伊豆半島北方（山梨県東部）でユーラシアプレートに衝突し、西翼部は、SR によって駿河湾西方に送り込まれている。このモデルは、プレートの厚さをも考慮に含めた立体的なプレートモデルであり、相模、駿河および南海トラフから沈み込み、伊豆半島のつけ根でユーラシアプレートに衝突する、フィリピン海プレートの具体的な像を明らかにしたものである。フィリピン海プレートが伊豆半島で本州に衝突したため、“伊豆シアゾーン”が形成され、それが、フィリピン海プレート北端部の運動を規制する要因となっている。このモデルによって、フィリピン海のプレートの伊豆半島以東の部分が、同プレートの平均的な運動方向（北西）とは異なり、より北側の向きに沈み込んでいることが説明できるようになった。

次にこのモデルから、発生可能な地震の型は、太平洋、フィリピン海、ユーラシアの各プレート間、プレート内地震と、分類されることを述べ、これによって、現在起こっている主な地震活動の発生様式が殆ど矛盾なく整理、説明することができることを示した。

また、統一モデルで与えたようなフィリピン海のプレートの形態は、大きな地震が時間的に近接して起こる現象や、地殻変動の移動の説明する材料となることをいくつかの例をもって示した。例えば、1980年6月29日伊豆半島東方沖地震（M6.7）のほぼ3ヵ月後、関東平野直下数10kmの深さで、M6クラスの地震があいついで発生したが、統一モデルからは、伊豆半島東方沖地震によって、フィリピン海がプレートが“北方に送り込まれた”結果と理解することが可能である。

関東地方は、我が国で、第四紀最大の地殻の最大の沈降域を持つ（関東造盆地運動）。0.12Ma以降の地殻の沈降と、60～90kmの深さの地震活動（スラスト）域とが良い一致をなしている。このことは、運動量の大きな太平洋プレートにより、フィリピン海プレート下部が削られ、上載のプレートに内部変形をあたえ、関東造盆地運動の様な沈降現象が生じたものと考え事も可能であることを示唆している。太平洋プレートの形状、運動は、一方の関東造盆地運動の大きな要因である地殻の海側を隆起させることができる可能性を指摘した。統一モデルは、この両者の関係にもはっきりしたイメージを与える。

5. 統一モデルからみた主な歴史地震

現在起こっている地震は、統一モデルによって、その発生様式について矛盾なく説明できた。統一モデルから、当地を襲い、大きな被害を与えた、歴史地震に対し、考察を加える。1855年安政江戸地震は、震源が大変浅く、その被害分布から、関東地震の断層の北東延長部を破断したプレート境界地震の可能性が強いことを指摘した。1703年元禄地震（M8.2）は、関東地方を

襲った最大の地震である。歴史資料の調査が進むに連れ、安房地方北部は、隆起したのではなく、沈降していること、津波の調査から断層が南方海上まで延びていた可能性が指摘されている事から、1923年関東地震と異なった断層域を持つことを議論した。地形の研究から、1000年単位で繰り返す出来事であったことが知られている。これらの事から、フィリッピン海プレートを断ち切るような地震であった可能性も否定できないことを論じた。更に時代を遡った1498年明応地震や1605年慶長地震は、非常に解釈の難しい地震である。津波の波高の研究から得られた断層モデルと、“銭州海嶺沿いの構造線”が、位置的に良い一致をなすこと等から本州の南方沖合の破壊現象であった可能性を指摘した。更に、関東・東海地域の歴史地震の時空間分布についても考察を行った。鎌倉等に津波と地震動の被害をもたらした地震は、200年を単位として繰り返し起こっていることからプレート間地震である可能性が強いことを述べた。

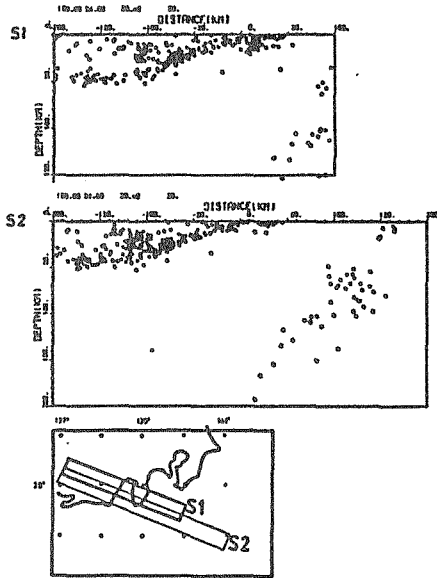
歴史地震のパターンは、統一モデルの立場から、フィリッピン海プレートに関連した地震について次のような位置づけを与える。比較的小さな地震 ($M\sim 7$) は、フィリッピン海プレートの運動を反映するスリップベクトルをもつか、プレート内部応力を反映する、しかし、より大きな地震 ($M\sim 8$) では、フィリッピン海プレートの幾何学的形状に拘束された、破壊様式を示す。関東地震が北方向の成分も含むスリップベクトルを持つ地震であったのはこの為である。更に大規模な地震では、統一モデルで与えたフィリッピン海プレートの複雑な形状の規模を越えてしまう為、剛体的プレート運動に支配される、より単純化された断層が生じる。これらの地震活動は、歴史地震のパターンが示すように、相互に有機的に結びついて、その発生様式を規定している。

6. プレート境界に関する諸問題

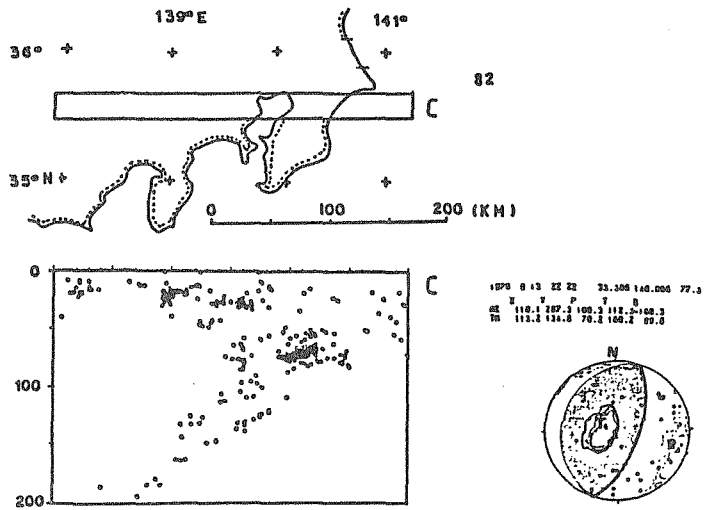
統一モデルから要請されるプレート境界は、従来のプレート境界とは必ずしも一致しない。大きな差は、相模トラフ東部（房総半島南方）と国府津・松田・神縄断層系をプレート境界としての役割の与え方にある。伊豆半島を含んだ地域でシアゾーンを提言したように、いずれも広域の場で、プレート相対変位が受持たれていると考えている。海域における精度の高い地震活動や、地殻構造の調査等を通じて、これらの考えの妥当性を検討していく必要がある。

7. おわりに

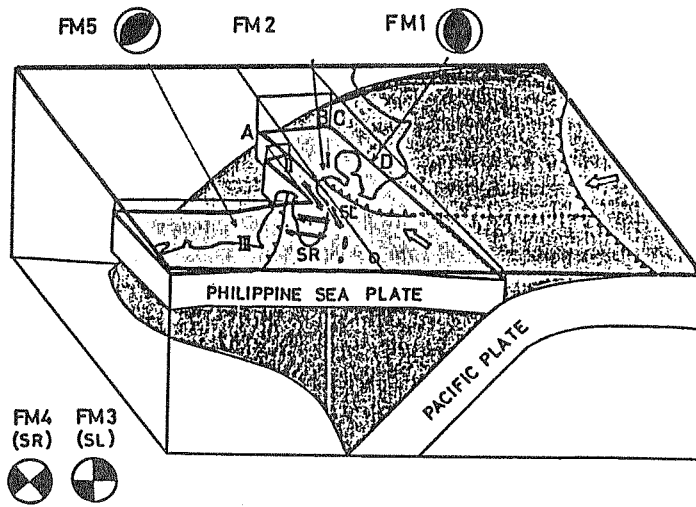
今までの議論のまとめを行うとともに、今後統一モデルを、よりリアリティの高いものへ発展させる為、特に重要と考えられる事項について議論を行った。主要な項目は、①海域の地震活動の精査、②関東地方の上部マントル内の地震発生場の研究、③フィリッピン海プレート東翼部の西縁の確定、④伊豆シアゾーン北端部の総合的研究（富士山および、山梨県東部の地震活動）、⑤東海～九州のプレート境界部の研究、の5点である。今後、これらの諸点について特別の留意を払い、統一モデルをより精緻なものに発展させて行きたい。この研究を通じて、関東・東海地域の地震発生場に関する理解が更に深まり、地震予知の戦略構築も、大きく前進するものとする。



(図1) 駿河トラフに直交する断面上の震源分布



(図2) 高精度震源決定による震源分布東西断面と、東経140°付近の深さ60~80kmの地震の発震機構。



(図3) 関東・東海地域のテクトニクスを統一的に説明するプレートモデル

論文審査の結果の要旨

関東・東海地域は太平洋、フィリピン海、ユーラシアの3つのプレートによって構成されていて、トリプルジャンクションの安定性を論ずる上でプレートテクトニクスの第一級の問題を含んでいる。よって従来から地震発生様式等について多くの研究が行われてきた。しかし、これらの議論は、地形・地質学的、あるいは地震学的視点からのものが多く、地震活動、地殻変動、テクトニクス等の考えを総合した統一的解析にはいたらなかった。

笠原敬司提出の論文はこの点に着目し、深さ3,000m級の深井戸観測を含む高精度の地震データを用いた地殻速度構造の設定、巧妙な解析手法をみ出し、三重合点地域の地震テクトニクスに関する統一モデル（所謂笠原モデル）を提出したものである。

関東・東海地方は厚さ4 kmに及ぶ軟弱な堆積層と都市化による人為的雑微動に妨げられ良質な地震データが得られなかったが、地震予知計画に基き、国立防災科学技術センターによる3000m級の深井戸観測や関東・東海地域に展開された同センターや東京大学地震研究所の微小地震観測網の整備によって多量、良質のデータが蓄積されるに至った。著者はこれらの高質のデータに対応する、最適速度構造、高精度震源決定の方法を考案し、約20,000個の地震の震源を再決定し、テクトニクスや断層運動の議論を発展させる基本的データとした。既に知られている太平洋プレートの地震活動を手懸りにその発震機構等を考慮しつつ複雑に発生している地震を分類してフィリピン海プレートの振舞を明らかにした。地震の巣として良く知られている千葉県中部の深さ70km付近の地震活動の型は低角逆断層で、太平洋、フィリピン海プレートの相互作用で発生していることをはじめて明らかにするなど、関東・東海地域で発生する地震は太平洋、フィリピン海、ユーラシアの3つのプレートの相互作用によって明解に説明できる事を示した。

以上の成果やテクトニクスに関するこれまでの知見を総合し、関東・東海地域のテクトニクスを統一的に説明するモデルが提出された。その概要は以下に述べる通りである。ユーラシアプレートに対し北西進するフィリピン海プレートの北端部は伊豆半島付近で東翼(I)、中央部(II)、西翼(III)に分断されている。IとIIの境界は丹那断層に代表される南北走向の左ずれ断層群、IIとIIIの境界は石廊崎断層に代表される北西・南東走向の右ずれ断層群であり、東翼部は関東地方直下にもぐり込み、中央部は伊豆半島北方でユーラシアプレートと衝突し、西翼部は駿河湾西方にもぐり込んでいることを示し、プレートの厚さをも考慮したフィリピン海プレートの具体的な像を明らかにした。さらに本論文では1885年安政江戸地震、1703年元禄地震等の歴史地震についてもこの統一モデルによりそれらの発生様式を矛盾なく説明できることを示している。

以上に述べたごとく、笠原敬司提出の論文は高精度地震データに基づき、サブダクションゾーン第一級の課題である関東・東海地域の三重合点の地震テクトニクス（地震発生に直接関係する造構造）をはじめて明らかにしたもので地震学上極めて貴重な新しい知見を与えたものと

いえる。

これは本人が自立して研究活動を行うに必要な高度の研究能力と学識を有することを示している。よって笠原敬司提出の論文は理学博士の学位論文として合格と認める。