

氏名・(本籍)	おおつきけんしろう 大槻憲四郎
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	理 第 7 7 2 号
学位授与年月日	昭 和 59 年 11 月 28 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47年 3 月 東北大学大学院理学研究科 (修士課程) 地学専攻修了
学位論文題目	Plate tectonics of eastern Eurasia in the light of fault systems (断層系からみたユーラシア東部のプレートテクトニクス)
論文審査委員	(主査) 教 授 北 村 信 教 授 小 高 民 夫 教 授 高 柳 洋 吉

論 文 目 次

Abstract

Introduction

Chapter 1 Geologic lineament analysis by the LANDSAT images

- I) Source materials
- II) Recognition of geologic lineaments
- III) Digitizing and mapping of geologic lineaments
- IV) Regional tendencies of geologic lineaments
- V) Staistical analysis of fault lineaments
- VI) Classification of fault lineament systems

Chapter 2 Fault system and tectonics of Asia

- I) Ural-Mongolian geosynclinal fold belt
- II) Marginal Pacific tectonic domain

III) Tethys-Himalayan tectonic domain

Chapter 3 Tectonic stress field of Asia and the framework of plates

I) Intraplate tectonic stress field as a result of the interaction with the neighboring plates

—— Middle Miocene to Recent ——

II) Back-arc spreading along the Pacific side region and progress of the Indian continental collision

—— Eocene to Early Miocene ——

III) Subduction of the Tethys and Kula-Pacific Ridge and the Gandise-Nyainqentanglha and the younger East Asiatic Magmatic Belts

IV) Strong compression in the Pacific side region and the continental accretions in the Tethys side region

—— Late Triassic to Early Cretaceous ——

V) Collision of the Talimu-Sino-Korean continent with Siberia and the reorganization of the plate regime

—— Late Paleozoic to Late Triassic ——

Conclusions

References

論文内容要旨

I) 研究目的及び研究方法

1960年代以来のプレートテクトニクスの発展は、大陸プレート内のテクトニクスといえども、海洋プレートとの相互作用を含む系の中で理解されるべきであると教えた。本研究に於ては、この観点から、ユーラシアプレート東半部(ウラン山脈以東のアジア大陸)に於る後期古生代(約3.5億年)以降のテクトニクスの発展を明らかにした。

本研究に於て取扱うプレート間相互作用を示す事象とは、主にプレートの相対運動とプレート造構応力場との関係である。プレート内応力場はプレートの相対運動に依存するプレート境界の力学的境界条件とプレートの不均質性によって決定されると予想された。この考えを、先づアジア大陸の現在の造構応力場について証明した。

海洋底からの地質的情報は地質時代を遡るにつれて減少し、陸上からの情報の相対的重要性が増大する。地質時代のテクトニクスに関しては、現在のそれとは逆に、プレート内応力場を主とするテクトニクスに関する情報から、これを満足するプレートの境界条件を明らかにし、さらにはその条件をもたらず海洋プレートの運動を推定しようとした。

現在のアジア大陸の造構応力場に関しては、既存のプレート内地震の発震機構解及び活断層の資料を総合した。地質時代のそれについては断層解析によって復元した。断層解析は1/100万、及び1/400万縮尺の LANDSAT 画像によるリニアメント解析に地表調査による既存資料を併せて行った。判読したリニアメントデータは大型計算機によって数値化し、メッシュに分割した小地域毎に方向別卓越度、方向別長さ分布、方向別曲率度分布、分布密度を求めた。また、隣あう小地域毎に、方向別卓越度に関する cross-correlation 係数を求め、リニアメントの domain analysis を行なった。これらをもとに、18の断層リニアメント系を識別した。なお、リニアメントデータは既存の1/500万地質図に重ね合せて見られるように座標変換し、図化した。各断層リニアメント系に地表調査による断層の活動時期・活動様式等に関する既存情報を付け加え、地質時代毎に造構応力場を復元した。

現在とジュラ紀後期～白亜紀前期のプレート内応力場とプレートの境界条件との関係については、弾塑性体有限要素法による数値実験で検討を加えた。

II) アジア大陸の断層及び断層リニアメント系の諸特徴とプレート内造構応力場

i) 断層リニアメントの domain analysis によって、アジア大陸を Pacific side domain, Tibet-south Mongolian domain, East Baikal domain 及び Three River domain に分けた。

ii) Pacific side domain に卓越する断層リニアメント系はシステム A1(方向が NS±15°), システム B1(N20°E±10°), システム C1(N35°E±10°), システム D(N40°E~65°E) およびシステム G(N10°E~90°E)である。この中、システム A1, B1, C1 は直線的な交跡をもつ左横ずれ断層である。これらはより劣勢なシステム A2, B2, C2 を伴い、互いに共役関係にある。システ

ム A1, B1, C1 の分布は極めて広域的で、モンゴル中央部にまで達し、太平洋沿岸で分布密度が高く、内陸に向って粗になる。これらに対し、“East Asiatic Left-Lateral Fault System” と名付けた。

システム D と G は左横ずれ成分をもつ逆断層である。

これらのシステムは D および G, C1 および C2, B1 および B2, A1 および A2 の順序で、後期トリアス紀から、特に後期ジュラ紀から前期白亜紀に形成された。これらの断層システムは、この期間に造構応力の主圧力軸が NS 方向から NW 方向に漸次変化し、この強い圧縮応力場は太平洋側からの圧縮によるものであることを示している。

iii) Tibet-south Mongolian domain には WNW 方向の断層リニアメントシステム R が卓越する。これらは長く、曲線的な交跡をもつ。これらは地域によって N65°~95°W 方向のシステム R1 と N35°~70°W 方向のシステム R2 に分けられる。これらのシステムは逆断層で、前期古生代以降の古いプレートの沈み込み帯が含まれている。他に卓越したシステムは N60°~80°E 方向のシステム S1, N25°~65°W のシステム S2, および NS~N35°W のシステム S3 である。システム S1 は左横ずれ断層、システム S2 と S3 は右横ずれ断層である。短い NS 方向の断層は伸張性の正断層で地溝を伴うことがある。

これらの断層システムはバイカル、カレドニアン、パリスカン、インドシナ、燕山およびヒマラヤ変動時に断続的に発生し、以前と同じ性格の断層として以後再活動したものである。従って、この事は Tibet-south Mongolian domain が上記の造構期に、常に NS~NNE 方向の水平圧縮応力場にある事を示している。

iv) East Baikal domain では、シベリア台地の南縁を取り巻くように発達する ENE 方向のシステム U が卓越する。これらは逆断層で、バイカル、パリスカンの造構期に形成され、中生代に再活動したものである。

v) Three River domain には NNE 方向のシステム G, NS~NNW 方向のシステム S4 が卓越する。前者は龍門山々脈の逆断層系の南方延長にあたり、後者は逆断層成分をもつ横ずれ断層である。システム G はインドシナ変動期に形成され、ヒマラヤ変動期に再活動した。システム S4 はインドシナ、燕山、ヒマラヤの各変動期を通じて形成され、逆断層から横ずれ断層に変換したものである。

III) アジアの造構応力場とテクトニクスの変遷

上記のリニアメント及び断層の解析にもとづき、後期古生代以降の応力場の変遷とテクトニクスを検討した。

i) プレート間相互作用を明らかにするために、現在のアジアの造構応力場について、有限要素法による数値実験的検討を行った。その結果、以下のように“プレート内応力場はプレートの境界条件とプレートの不均質性によって、ほとんど完全に決定される”ことが解った。a) プレート境界に与えられる強制変位または荷重の方向はプレートの相対運動の方向と一致しな

ければならない。b) ヒマラヤのプレート境界の平均応力ベクトルは太平洋側のそれより約3倍大きくなければならない。c) 地殻の年令が古いところ程リソスフェアは厚く、楯状地や台地のそれは、中・新生代の造山帯より3倍程厚いと見積もられた。

現在の応力場は、時代を遡るにつれて太平洋側からの圧縮が減少するものの、基本的様相は中新世初期まで一定である。

ii) 始新世から前期中新世までのテクトニクスはインド大陸の衝突と太平洋側活動的大陸縁辺に於る背弧拡大によって特徴づけられる。インド大陸衝突によるその前面の強い圧縮応力場は、これ以後と基本的に変らない。他方、太平洋側ではNNE~NE方向の既存断層が正断層として再活動した。これは、NW方向の引張応力場を物語る。「プレート収れん速度の法則」(上盤プレート先端部の変形速度=プレート収れん速度-7.2cm/yで表わされる：現在、大槻が投稿準備中)から、背弧拡大とプレート内引張応力はともに、太平洋プレート、フィリピン海プレート及びインドプレートのユーラシア大陸に対する7.2cm/yより遅い収れん速度に起因するものと予想され、事実そのようになっているらしい。

iii) 後期白亜紀から暁新世までのテクトニクスは拡大しつつある海嶺の沈み込みによって特徴づけられる。この時期には太平洋側では“East Asiatic Magmatic Belt”の若いコンプレックスに代表される大量の酸性火成活動が、テチス海側では“Gandise-Nyainqentanglha Magmatic Belt”に見られる大量の中・酸性火成活動が起った。前者の地域では弱い引張応力場が、後者の地域では弱い圧縮応力場が存在していたらしい。これらはKula-Pacific RidgeとTethys Ridgeの沈み込みと関係していたと思われる。特にテチス海側では80~53myに起きた“Indian northward flight”による速いプレート収れん速度に伴う圧縮力が海嶺の沈み込みによる引張応力場を打消したのであろう。

iv) 後期トリアス紀、特に後期ジュラ紀から前期白亜紀に於ては、アジア大陸の太平洋側に“East Asiatic Left-lateral Fault System”が形成された。その分布の広域性から、圧縮応力の強さはインド大陸の衝突に匹敵するものであり、その分布密度の特徴から、太平洋側からの圧縮によるものと判断される。また、主圧力軸の変化から、太平洋の海洋プレートのユーラシアプレートに対する相対運動方向も、この期間にNSからNWに変化したものと推定される。

他方、テチス海側では、白亜紀初期にIran-Afghanistan-Nainqentanglha小大陸地塊列が、それぞれBangong Lake-Nujiang海溝、およびJinshajiang-Red River海溝に於いて、南方からTalimu-Sino-Korea大陸に付加した。しかし、モンゴルや天山山脈地域の断層運動を含む地殻変動が比較的静穏であったことを考慮すると、小大陸地塊列の付加に伴う圧縮力はさ程大きくはなかったものと推定される。

従って、この時期のアジア大陸の造構応力場は始新世以降のそれとは反対に、太平洋側で強圧縮、テチス海側で弱圧縮であったと結論される。この応力場を満足するようなプレートの境界条件を弾塑性体有限要素法による数値実験で検討した結果、平均的な応力ベクトルの比は両側で4:1である事がわかった。

また、この時期には太平洋側に沿って、広域的に“East Asiatic Magmatic Belt”の古いコンプレックスに代表される中・酸性の火成活動があった。この火成活動の成因は Kula-Pacific Ridge の更に北方にもうひとつの海嶺(Tethys 4-Tethys 5 Ridge)が存在していて、それが大陸下に沈み込んだ結果であると想定するのが妥当である。

海嶺の沈み込みは、大陸プレートに弱い引張応力場を形成すると考えられるが、太平洋側に強い圧縮応力場をもたらした原因はこれを打消してもなお強大な圧縮応力場を形成するようなものでなければならない。それを日本やシホテアリンの小大陸塊の付加にのみ求める事は不可能で、7.2cm/y よりかなり大きなプレート取れん速度が想定されねばならない。

後期トリアス紀の海溝はテチス海側では Jinshajiang-Red River fault であり、太平洋側では飛騨外縁構造帯-那丹哈達嶺古沈み込み帯である。古地磁気の資料によれば、シホテアリンと日本の小大陸地塊はかつては赤道近くに位置していて、後期ジュラ紀に現在位置に付加したものである。これらの事から、Nainqentanglha-Indochina 小大陸地塊は日本・シホテアリン小大陸地塊とともに、赤道付近に島列を形成していて、その北方の Talimu-Sino-Korea 大陸との間には広い海洋が存在していたと想定される。この海洋のプレートを生産したのが Tethys 4-Tethys 5 海嶺で、“East Asiatic Magmatic Belt”の古いコンプレックスをもたらしたのがこの海嶺の沈み込みによるものと考えられる。この海洋はテチス側では Nainqentanglha-Indochina 大陸の付加によって後期トリアス紀に閉じ、太平洋側ではシホテアリン・日本の小大陸地塊の付加によって、最終的にジュラ紀後期に閉じた。

v) 二畳紀末から三畳紀初頭にはシベリア台地(大陸)と Talimu-Sino-Korea-Yangzi 大陸の衝突の時期である。この時期に南北圧縮応力場を示す逆断層系・横ずれ断層系が天山・カザフスタン・モンゴルなどに形成された。また、古地磁気の資料は二畳紀に Sino-Korean-Yangzi 大陸が赤道のすぐ北側に位置していて、シベリア大陸との間に広い海洋(Pal-Asia Sea)が横たわっていたことを示している。天山と内蒙古の地向斜帯の地質的情報から、この海洋プレートは主にシベリア大陸側に沈んでいた事がわかる。これらの地向斜帯に於る狭義のバリスカン造山運動は石炭紀後期から開始するもので、大陸衝突の時期とは異なる。前者の造山運動と、それとほぼ同時期にシベリア大陸南縁部に起った島弧型の“subsequent volcanism”は Pal-Asia Sea の海洋プレートのシベリア大陸に対する急速な取れんと、その下での Pal-Asia Sea の海洋プレートを生産した海嶺の沈み込みによるものと考えられる。Talimu-Sino-Korea 大陸のシベリア大陸に対する衝突は、Talimu 大陸地塊の衝突が先行し、その東西両側ではやや遅れて起った。

上記の大陸衝突を契機に、プレート境界の配置変更が起きた。すなわち、Talimu-Sino-Korea-Yangzi 大陸南縁部のプレート沈み込み帯の活動が促進され、秦嶺地向斜帯が閉じた。また、太平洋側に於ては、それまで非活動的大陸縁辺、またはトランスフォーム型プレート境界と推定されるが、そこが新たに活動的大陸縁辺地域に転化した。

論文審査の結果の要旨

プレートテクトニクス理論に基づけば、大陸のテクトニクスも、それを取りまく他のプレートとの相互作用として理解される。

本論文では、先づ第一に、アジア大陸における現在の広域応力場がプレートの境界条件と、プレートの不均質性とによって決定づけられていることを弾塑性体有限要素法を用いて証明している。

次いで、後期古生代までさかのぼり、プレート内応力場から、逆にプレート間相互作用を推定することを試みている。地質学的過去の造構応力場の復元は、ランドサット画像によるリニアメント解析と既存の地表調査の資料を総合することによって行っている。

その結果、アジア大陸東部は主として“東アジア左横ずれ断層系”と名づけた NS~NE 方向の3つの左横ずれ断層系によって特徴づけられ、これらの断層系の性質に基づけば、160Ma から120Ma 頃の圧縮応力場は極めて広域かつ強大であり、それは太平洋側のプレートが NS から NW に漸次方向を変えつつ急速に北上したことによるものであると推定されるにいたった。また、有限要素法によって、この時の圧縮応力は、テチス海のそれより約4倍の大きさであったと結論づけられるにいたった。さらに、それらの断層系が、50Ma から20Ma の間に正断層として再活動しているという事実から、NW 方向の水平引張応力場の復元を行っている。この応力場は日本海や南支那海などの縁海形成と関連していて、これらはフィリピン海とインドプレートの遅い北上速度によるものと解釈している。

シベリア台地とインド亜大陸との間の地域の断層系は、主に NW~ESE 方向の古海溝を含む逆断層系、ENE~NE 方向の左横ずれ断層系および NNW~NW 方向の右横ずれ断層系によって特徴づけられている。そして、これらは、南方からシベリア大陸に向って、タリム-中朝大陸、羌塘(Qiangtang)-印度支那、イラン-アフガニスタン-念青唐古拉(Nyainquentanglha)が相次いでそれぞれ250~230Ma 頃、200Ma 頃、および140~130Ma 頃に衝突付加したために生じたものであって、これらの断層系は45Ma より開始したインド亜大陸の衝突によって再活動したものであると結論づけている。

また、シホテアリンや日本などのジュラ紀から初期白亜紀の付加帯は、羌塘(Qiangtang)-印度支那とともに赤道付近で1つの島列を形成したものであると解釈している。

以上の成果はユーラシア東部のプレートテクトニクスに関する研究を一段と飛躍させたものであると認められ、大槻憲四郎が自立して研究活動を行う上に必要な高度の研究と学識を有することを示している。よって、大槻憲四郎提出の論文は理学博士の学位論文として合格と認める。