

比較変動地形研究の目的と方法

植村善博

〔抄録〕

わが国における変動地形研究は1891年の濃尾地震以来、100年以上の長い蓄積を持つ。1995年兵庫県南部地震を契機に、研究の中心は活断層の詳細分布と活動履歴を明らかにし、地震危険度を評価するなど精密かつ応用的側面を強めてきた。一方、変動地形のグローバルな視点からの比較研究の重要性が指摘されてきた。本論ではその目的および方法について私見を述べた。すなわち、比較変動地形の研究は、地球史を支配するウィルソンサイクルの各段階において変動地形の特色と地形構造を明らかにし、大地形から微小地形までの形成過程を明らかにすること、それらを比較・検討して変動地形の進化系列に関するモデル化をおこなうこと、およびその地域的多様性を明らかにすることが主な目的である。そのためには、プレート境界部において各段階の変動地形が典型的に発達する地域を取り上げる必要がある。今後は、この方向に沿って現地調査をおこなって第四紀における地殻変動、特に断層変位地形を中心にその諸性質と形成過程を明らかにする必要がある。その結果にもとづいて変動地形の形成過程と一般性、そして地域性を比較・検討するという研究視点から実証的研究を進めることが大切である。その成果を集積・体系化することによってグローバル変動地形学を確立・進展させることが期待される。

キーワード 比較変動地形・ウィルソンサイクル・プレート境界・
グローバル変動地形学

1 研究の目的

地形学の目的は、地表起伏の進化系列とその特色を明らかにし、その形成過程を具体的に解明することである。地形輪廻説は地殻変動を単純化し、外的営力とくに河川の侵食作用による地形の進化系列を時間軸において体系化したものであった。その後、気候地形帯ごとの形成営力と地形の成因に関する研究が進み、侵食地形の発達モデルは大きく進歩した。

変動地形 (tectonic landform) は地殻変動の直接的結果として形成された断層地形や褶曲

地形などをさし、地殻変動がそのまま、またはそれに近い形で反映しているものである。変動地形の性質と多様性は地殻変動の種類と規模、その頻度や継続期間、すなわちテクトニクスの特性を反映した産物といえる。しかし、その体系化や進化系列のモデル化は完成していない。変動地形研究の課題として、地形学の立場から次の5点が重要であると考えられる。

- 1) 変動地形をその種類とスケールによって分類し、地域の地形構造を明らかにすること。その地形は断層や褶曲が時間的・空間的に積分されたものであるから、そのプロセスを詳細に分析して地形の形成過程を具体的に明らかにすること。
- 2) 変動地形の形成営力として、地殻変動の性質と地形との関係を定量的に把握すること。これには第四紀を中心とした地形研究が重視される。そこでは一般に、①変位基準地形の保存がよく、②年代資料が豊富で、③精度のよいデータがえられるからである。このような定量的なデータにもとづきメカニズム論や運動論が可能となり、グローバルな比較・検討が意味をもつようになる。
- 3) 変動地形の多様性をプレートテクトニクスにもとづいて体系化し、その進化モデルを地球史過程の中に位置づけること。また、進化の各段階を特徴づける地形が発達する地域において、その特徴と第四紀における形成過程を明らかにすること。
- 4) 地殻変動の定量的把握にもとづいて、未来の予測を精度よく行うこと。近年の詳細な活断層研究は古地震の性質、地震の最新活動期や発生周期などを明らかにし、長期的発生予測や地震発生危険度評価に寄与している。この分野の応用面として社会的要請に応じる事ができる点で重要である。
- 5) 変動地形の形成から消滅に至る過程を侵食・堆積の地形プロセスを中心に把握すること。現実の地形はテクトニクスと外的営力との相互作用の結果として存在している。しかし、侵食堆積作用を中心にその変化過程を明らかにする研究は十分には進んでいない。

変動地形は変動帯を特徴づける地形であり、地形学や地質学、地球物理学の分野から注目されている。従来、1)および2)を主目的として研究されてきた。一方、変動地形の進化過程を地球史過程のなかに位置づけ、グローバルな視点から変動地形の特色を比較研究することを目的とした3)の進展が望まれる。これは比較変動地形 (comparative tectonic geomorphology) 研究とよばれる分野である。この分野の研究課題として、①変動地形を地球史の段階に位置づけ、変動地形の特質と進化過程を明らかにすること、②定量的把握が可能な第四紀において、各段階ごとの変動地形と地殻変動との関係や形成過程を定量的に把握し、グローバルな視点から比較・検討すること、などあげられる。これらの成果を集積し、体系化することによって global tectonic geomorphology を確立していくことが可能になる。

2. 変動地形の種類とスケール

変動地形は背斜丘陵や曲隆山地などの褶曲地形と断層崖、地塁、地溝などの断層地形に大別される(辻村, 1933; 金子, 1967⁽¹⁾)。そして、ケスタや Hogback など地質構造や岩質を反映した組織(侵食)地形(structural landform)と区別することの重要性が強調されてきた(Cotton, 1950; 1952; 吉川他, 1973⁽²⁾)。ところで、変動地形には、ヒマラヤ山脈や琉球弧と⁽³⁾いった大規模ものから、地震断層や地割れなどの小規模なものまで実に多種多様な規模のものが含まれる。一般に、変動地形の空間スケールは地殻変動の継続時間によって支配されることが多い。一方、地形の形成過程やグローバルな比較研究において、スケールの認定は重要な基準になる。

変動地形の分類とスケールについては、Ota & Kaizuka(1991⁽⁶⁾)、Keller & Pinter(1996⁽⁷⁾)、貝塚(1990; 1998⁽⁸⁾)などが論じている。ここでは地形の水平距離と比高によって大中小の3スケールに区分するのが一般的であるが、以下ではさらに詳細な議論ができるよう次の6スケールに分類した。

①微小地形：百年以下→地震断層や開口亀裂、②小地形：数万年→断層崖、③中地形：数十万年→断層地塊や地溝、④大地形：数百万年→大地溝帯、中軸谷、海溝、火山弧、⑤巨大地形：数千万年→中央海嶺、島弧一海溝系、⑥超巨大地形：数億年→大陸塊、大洋底。

表1 変動地形のスケール、形成時間および形成要因

スケール	ひろがり	形成時間	地形の種類	アフリカの例	日本列島の例	形成の主要因
超巨大地形	>10000km	>10 ⁸ 年	超大陸・大洋底	アフリカ大陸	ユーラシア大陸・太平洋	ブルーム・テクトニクス
巨大地形	1000~10000km	10 ⁶ ~10 ⁷ 年	巨大曲隆山地・島弧一海溝系	東アフリカ地溝帯	西日本弧・東北日本弧	プレート運動
大地形	100~1000km	10 ⁵ ~10 ⁶ 年	ドーム状隆起山地・地溝帯	ケニアリフト	丹波高地・瀬戸内低地帯・紀伊山地	大規模地殻変動
中地形	10~100km	10 ⁴ ~10 ⁵ 年	断層地塊・地溝	スグタ谷	六甲山地・鈴鹿山脈	断層系
小地形	1~10km	10 ² ~10 ⁴ 年	断層崖・撓曲崖	サンプル東縁断層	比良断層崖	断層・撓曲
微小地形	<1km	<10 ² 年	地震断層崖・開口亀裂	ライキピア地震断層	野島地震断層	地震

この分類基準にもとづいて、東アフリカおよび近畿地方の地形を区分したものを表1に示す。本稿においては、微小~中規模の断層変位地形を主たる検討対象とする。これらを形成した営力は地殻表層部における歪みの状況を反映した地殻変動である。そして、その長期的なプロセスや原因などをテクトニクスというが、それを広域的応力場の反映とみなす。地形を形成する地殻変動の性質や成因、その発達過程とメカニズムを理解しモデル化するうえで応力場の位置づけや復原は重要である(安藤, 1979; 竹内, 1981, 1984; 平野, 1984⁽¹⁰⁾)。地殻に応力が加わると、連続的に流動変形(褶曲)する場合と不連続面を形成して破壊(断層)する場合とがある。褶曲について貝塚(1961⁽¹¹⁾)はその規模によって曲動型と褶曲型、およびその中間型に区分した。その成長は定常的に進行する場合と急性的な場合とがある。断層は地殻の歪みを断層によ

るずれによって発散し、地震を発生させる。日本の事例では、マグニチュード6.8以上の地震の場合に地表に地震断層が出現する。このプロセスが累積することによって断層変位地形は成長し、大規模な断層地形が形成されていく。断層運動は主応力軸の配置により正断層、逆断層、右および左横ずれ断層に区分される。

3. 第四紀地殻変動研究の意義

第四紀は過去約170万年間であり、最新の地質時代である。それは地球史上まれに見る激しい気候変化が繰り返し、人類が劇的な進化を遂げた時代でもあった。そして、前時代よりも激しい地殻変動が生起している時代であるといわれる。ところで、地殻変動の研究には、測地学的、地形学的、地質学的の3方法がある(笠原他編、1978)⁽¹⁵⁾。このうち、地形学的方法はそのカバーする時代が $10^3 \sim 10^5$ 年であり、第四紀のそれと一致する。また、年代資料が豊富で変位基準となる地形が鮮明であるためmオーダーの精度で把握でき、測地学的方法によるものとの比較にたえうる。また、地質学的方法の長所である偶然性に支配されない一般的性質を把握できる点でも優れている(藤田・太田、1977)⁽¹⁶⁾。本稿の主対象である中～小規模の断層地形はまさに第四紀地殻変動の反映であり、格好の対象であるといつてよい。

わが国では、第四紀における地殻変動の性質と重要性が議論されてきた。大戦後の最初のまとまった報告は1968年の『第四紀地殻変動』(地質学論集第2号)、『第四紀テクトニクス特集号』(第四紀研究第7巻)および1969年の『第四紀地殻変動図』(国立防災科学技術センター)であった。これらによって、基本的な第四紀テクトニクス観が形成された。この分野の興隆の背景には、ヨーロッパで展開されたネオテクトニクス研究の進展やそでの第四紀を造山運動の終末期とみなす運動観への疑問があったと思われる。わが国をはじめ環太平洋の変動帯では、造山運動が現在まさに進行中であるとの見方が認識されていた。また、第四紀を通じてほぼ同じ性質のテクトニクスが継続してきたと考えられた。このような運動観が現在につながる活構造研究(杉村、1973)⁽¹⁷⁾や地震研究(松田、1969)⁽¹⁸⁾と結びついて発展していった。その後、この分野の進展は著しく、藤田他編(1976)『断層と地震』⁽¹⁹⁾、笠原慶一・杉村新編(1978)『変動する地球—現在と第四紀—』⁽¹⁵⁾、活断層研究会編(1980)『日本の活断層』⁽²⁰⁾、藤田和夫(1983)『日本の山地形成論』⁽²¹⁾、藤田和夫編(1984)『アジアの変動帯』⁽²²⁾、阿部勝征他編(1985)『地震と活断層』⁽²³⁾、日本第四紀学会編(1987)『日本第四紀地図・解説』⁽²⁴⁾、加藤碩一(1989)『地震と活断層の科学』⁽²⁵⁾、米倉伸之他編(1990)『変動地形とテクトニクス』⁽²⁶⁾などによって総括的に論じられている。また、活断層や活褶曲の全国的な分布と特徴が明らかになり、地域性とその要因が詳しく議論されるようになった(岡田・安藤、1979)⁽²⁷⁾；Kaizuka & Imaizumi, 1984)⁽²⁸⁾。

以上を通じて、現在も進行中の第四紀地殻変動の特徴が明らかにされてきたといえる。それを要約すれば、第四紀を通じての①定向累積性、②速度の一様性、③広域応力場の継続性、④変動様式の地域性、などと表現できよう。また、第三紀までのそれとは質的に異なる新たなテ

クトニクスが第四紀から開始され、現地形の大半が形成されたことが強調された。松田・衣笠⁽²⁹⁾ (1988)は日本列島の第四紀を増起伏・陸化の時代、断裂の時代、圧縮の時代、変位速度ミリ／年の時代などと表現している。ところで、活断層については各々が固有の規模や活動周期をもって規則的に繰り返し地震を発生して活動すると考えられている。これは固有地震説に立脚するものであるといえる (松田⁽³⁰⁾, 1975)。そして、活断層の活動程度は平均変位速度によって評価することが定着し、その値の大小により、A級 (1 m/千年オーダー)、B級 (0.1 m/千年オーダー)、C級 (0.01 m/千年オーダー) などに区分されている。

最近では、現在に直接つながる地殻変動は東北日本では3 Ma (100万年前) 頃から、西南日本では0.7~1.5 Ma 頃から出現し地域差が大きいこと (竹内⁽³¹⁾, 1999)、西南日本では0.5 Ma 頃以降に変位速度が加速化した (藤田⁽³²⁾, 1983; 瀬野⁽³²⁾, 1987) といった問題も指摘されるようになった。

ところで、わが国において確立された第四紀のこのような概念が進化系列を異にする他地域においても認められるのかどうかの検証は重要な課題である。

4. 地球史における変動地形の進化系列

1960~70年代には地球規模の変動地形の分布と成因が注目され、プレートテクトニクス理論の構築に寄与した (上田・杉村編⁽³³⁾ 1973)。また、変動地形を地球規模で統一的に位置づけ、その比較検討を可能とする道を開いたのもプレートテクトニクス理論であった (上田⁽³⁴⁾, 1989、貝塚編⁽³⁵⁾, 1997)。それらによると、顕著な地殻変動が生起するのは10数枚のプレート間の境界に位置する狭小な変動帯であることが明らかになった。また、プレート境界は力学的性質によって広がる、縮む、ずれるの3種類に分けられることが示された。その詳細はPark⁽³⁶⁾ (1988) などにより検討されている。プレート理論にもとづいて変動地形をモデル化する必要性はMorisawa & Hack⁽³⁷⁾ (1983) によって指摘され、Ollier⁽³⁸⁾ (1981), Selby⁽³⁸⁾ (1985), Summerfield⁽⁴⁰⁾ (1991), Yeat.etal.⁽⁴¹⁾ (1997) などの著書において試みられている。しかし、①プレート概念を当てはめて演繹的に説明するものが多く、②地形スケールの認定があいまいで、地形構造や進化系列の位置づけが明確でなく、③地形の形成過程や定量的把握が十分に検討されていない、などの問題点をもつものが多く、完成には至っていない。

近年、地球科学は新たな地球史モデルを確立しつつある。プレートテクトニクスとプレートテクトニクスとが有機的に結合され、プレート運動のメカニズム論と進化論とが確立された (丸山⁽⁴²⁾, 1993; 木村⁽⁴³⁾, 1997; 磯崎⁽⁴⁴⁾, 1998; 丸山・磯崎⁽⁴⁵⁾, 1998)。この分野の成果を以下に要約してみよう。地球史約46億年間のうち、後半部の約20億年間には大洋底の生成から消滅、超大陸の成長と合体にいたる過程が約4億年の周期で繰り返してきた。すなわち、約10億年前にロドニア、約5.5億年前に Gondwana、そして約2.5億年前にはパンゲアの超大陸が形成された。約1億年前からはパンゲアの分裂が始まり、現在では大西洋や太平洋が拡大しつつある。このよ

うな約4億年の周期はプレート運動の1輪廻とよぶべきものであり、この過程を支配するものが超プルームである。現在、リソスフェア下における物質移動はアフリカおよび南太平洋の2つのホットプルームとアジアおよび南米大陸下のコールドプルームによって支配されていると考えられる(図1)。これは核とマンツルの境界に根をもち、前者では柱状の上昇流、後者では下降流の存在を示す。ホットプルームが立ち上がった部分に中央海嶺が作られ、そこから大陸が引き裂かれていく。一方、コールドプルームには大陸とマンツルが吸い込まれるようになってくる。現在はパンゲア超大陸の分裂から約1億年が経過し、分裂した大陸がユーラシア大陸に向かって接近集しつつあり、一部で衝突が始まっている。

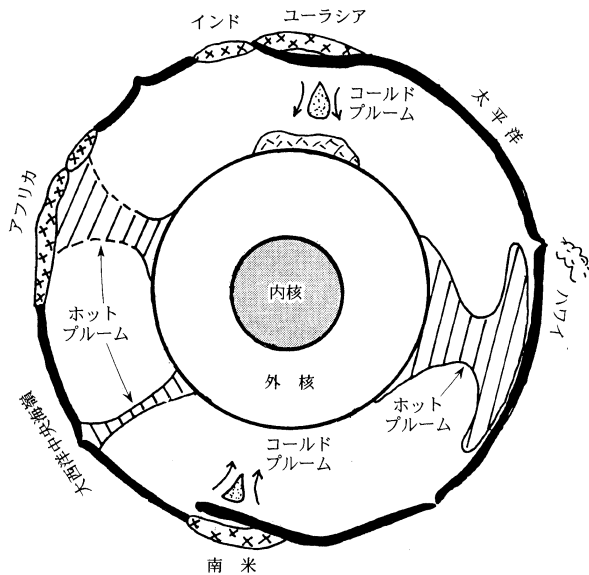


図1 地震トモグラフィーによる全マンツル構造 (丸山、1993による)⁽⁴²⁾

このようなプレート運動の1輪廻をウィルソンサイクルと呼ぶ(図2)。この名はパンゲア分裂以前の古生代にも古大西洋が開き、大陸移動が生じてアパラチアーカレドニア造山系が形成されたことを指摘したT.Wilsonにちなんで名づけられたものである(Dewey&Spall, 1975;⁽⁴⁶⁾ Bird, 1987;⁽⁴⁷⁾ 杉村, 1987)⁽⁴⁸⁾。地球史過程におけるウィルソンサイクルは変動地形の進化系列とテクトニクスの基本的な枠組みを支配する。すなわち、海洋の開裂から消滅、そして超大陸の形成に至る史的過程は、①大陸分裂期(東アフリカ段階)、②中央海嶺期(大西洋段階)、③沈み込み期(太平洋段階)そして④衝突期(ヒマラヤ段階)という進化系列として認識することができる。この過程は変動地形の①幼年期→②壮年期→③老年期→④終末期という進化系列に対応すると考えることができる。

つぎに、ウィルソンサイクルの各段階における変動地形と地球科学的特徴、およびテクトニクスの性質を上田(1989)⁽³⁴⁾、Condie(1982)⁽⁴⁹⁾、Park(1988)⁽³⁶⁾などをもとに要約しておこう。

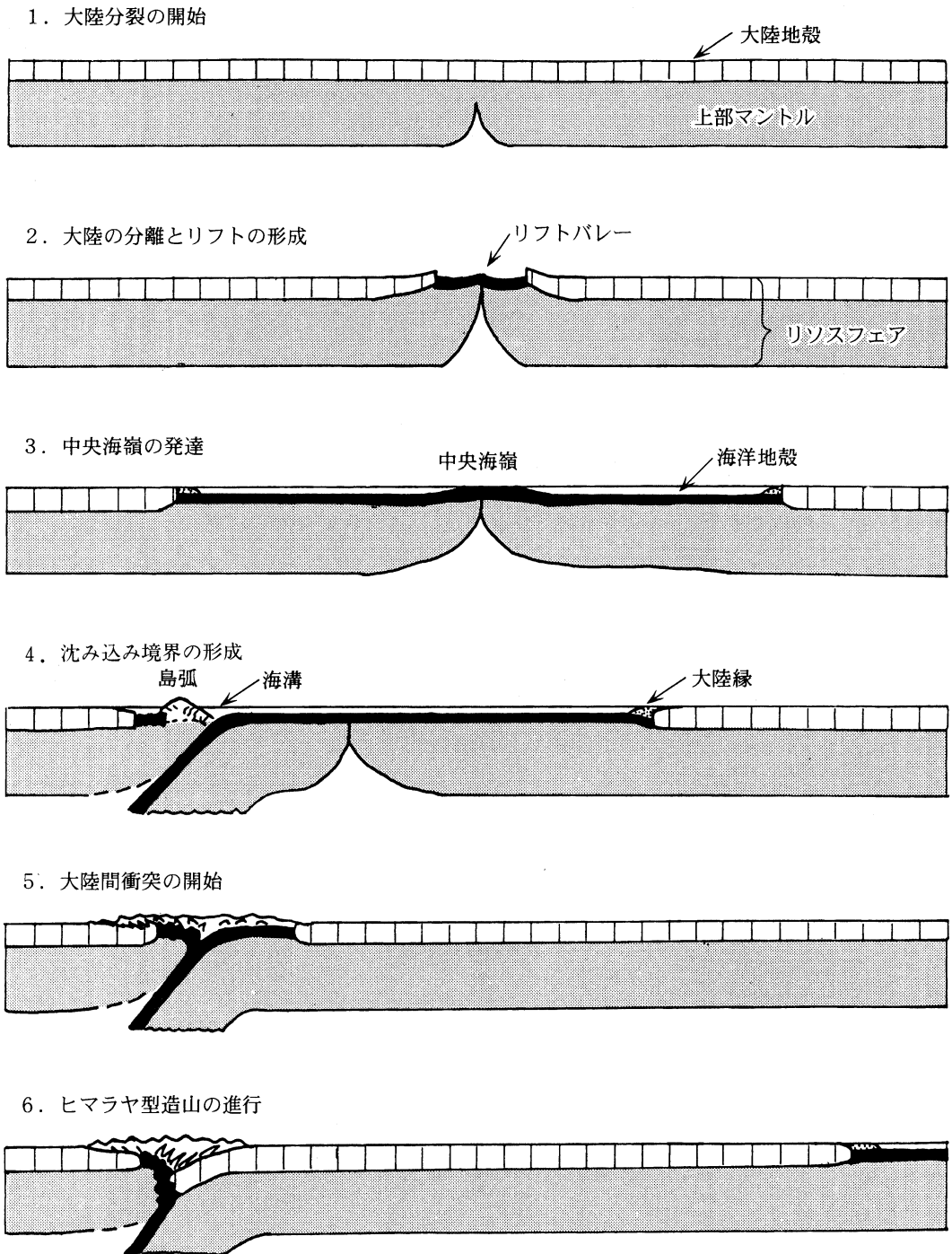


図2 ウィルソンサイクルの模式図 (Bird and Dewey、1970を改変)

①大陸分裂期：超大陸の直下にホットプルームの上昇流が立ち上がってくると、それに伴って直径1000km程度の大規模なドーム状隆起がはじまる。地殻は熱せられて薄化し、アルカリ玄武岩やソレライト質台地玄武岩の大量噴出が活発化する。また、伸長応力場が卓越し、隆起軸に沿っては断層や撓曲が生じて凹地が形成され、やがて大規模な地溝地形に発達していく (図3)。その位置は古い断裂帯を利用している場合が多く、東アフリカ地溝帯ではパンアフリカ

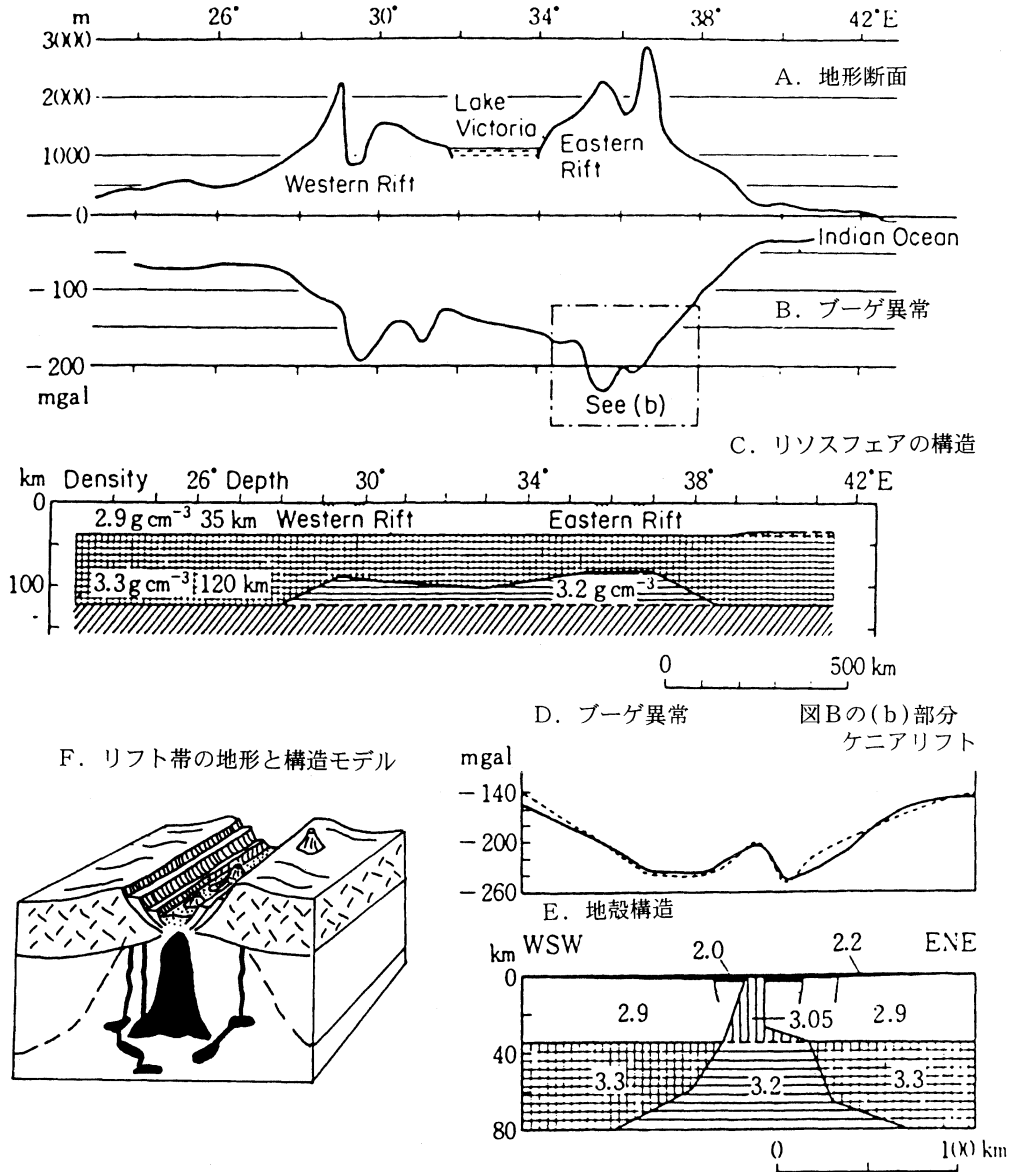


図3 東アフリカ地溝帯の地形・地球物理学的特徴

A: 地形断面、B: ブーゲ異常、C: リソスフェアの構造、D: ケニアリフトのブーゲ異常、E: 同地殻構造の推定図、F: リフトの地形と構造模式図 (Yairi, 1979;⁵⁵ Burke, 1980⁵⁶による)

変動帯の弱線に沿っている。地殻の側方伸長が進むと幅広いリフト系や地溝帯が連続的に形成され、そこに海が侵入して大陸分裂が本格化する。紅海がこの段階の好例である。

②中央海嶺期：地溝帯に侵入した海域は拡大して海洋となり、大陸は両側へ大きく分離していく。大陸分裂の中軸部にはアセノスフェアから莫大な量の中央海嶺玄武岩類が供給され、左右両側に付加されて新たな海洋地殻が生産されていく。これが海洋底拡大の原因であり、海洋プレートは側方移動をつづけていく。中軸部には幅200~800km、比高2000~3000mに達する大規模な中央海嶺が形成される(図4)。この段階の典型例が大西洋中央海嶺である。なお、拡大

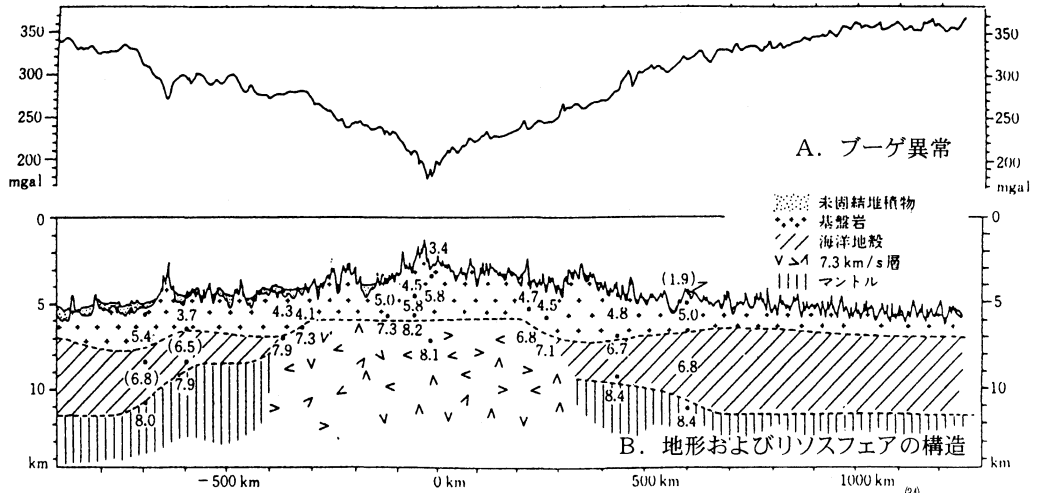


図4 大西洋中央海嶺のブーゲ異常(A)と地形・リソスフェアの構造(B) (上田, 1990による)

速度が年1~5cmと遅い部分では海嶺頂部に顕著な中軸谷を発達させ、年10cm程度と速度が早いと凹地地形はみられなくなるという。大陸は互いに遠ざかっていくが、大陸縁に沿ってはプレートの冷却に伴って沈降が生じ、厚い陸源性の堆積物が形成される。これは非活動的の縁辺とよばれ、大西洋の両縁に典型的に発達している。一方、かつての隆起したリフト縁はその後の変形をうけたり、侵食による後退を続けながらグレートエスケープメントとして長期にわたり残存している。南アフリカのドラケンスバーグ山脈やインドの西ゴーツ山脈がその好例である。

③沈み込み期：海洋底が拡がりきってしまった後は縮小の段階に入る。大陸と海洋の境界付近に沿って新たな海溝が形成され、大陸プレートの下へ海洋プレートの沈み込みが始まる。ここにプレートの収束境界が形成され、圧縮応力場が卓越する。その位置が大陸縁の場合には、南米西縁のように弧状山脈が形成される。これは陸弧とよばれる。一方、大陸との間に縁海(背弧海盆)を有したり海洋プレート内に沈み込みが生じると弧状列島が形成される。これは島弧-海溝系とよばれ、太平洋西縁のユーラシア大陸との境界部に典型的な発達を示す(図5)。

これには大陸側に縁海を抱く千島弧、東北日本弧、西南日本弧、琉球弧、マリアナ弧などが花づなのように連続しており、古くから注目されてきた。上田(1989)⁶⁴⁾は背弧域が活動的で海底拡大を生じているものをマリアナ型、それ以外のものをチリ型と分け、それを地形や地質構造の

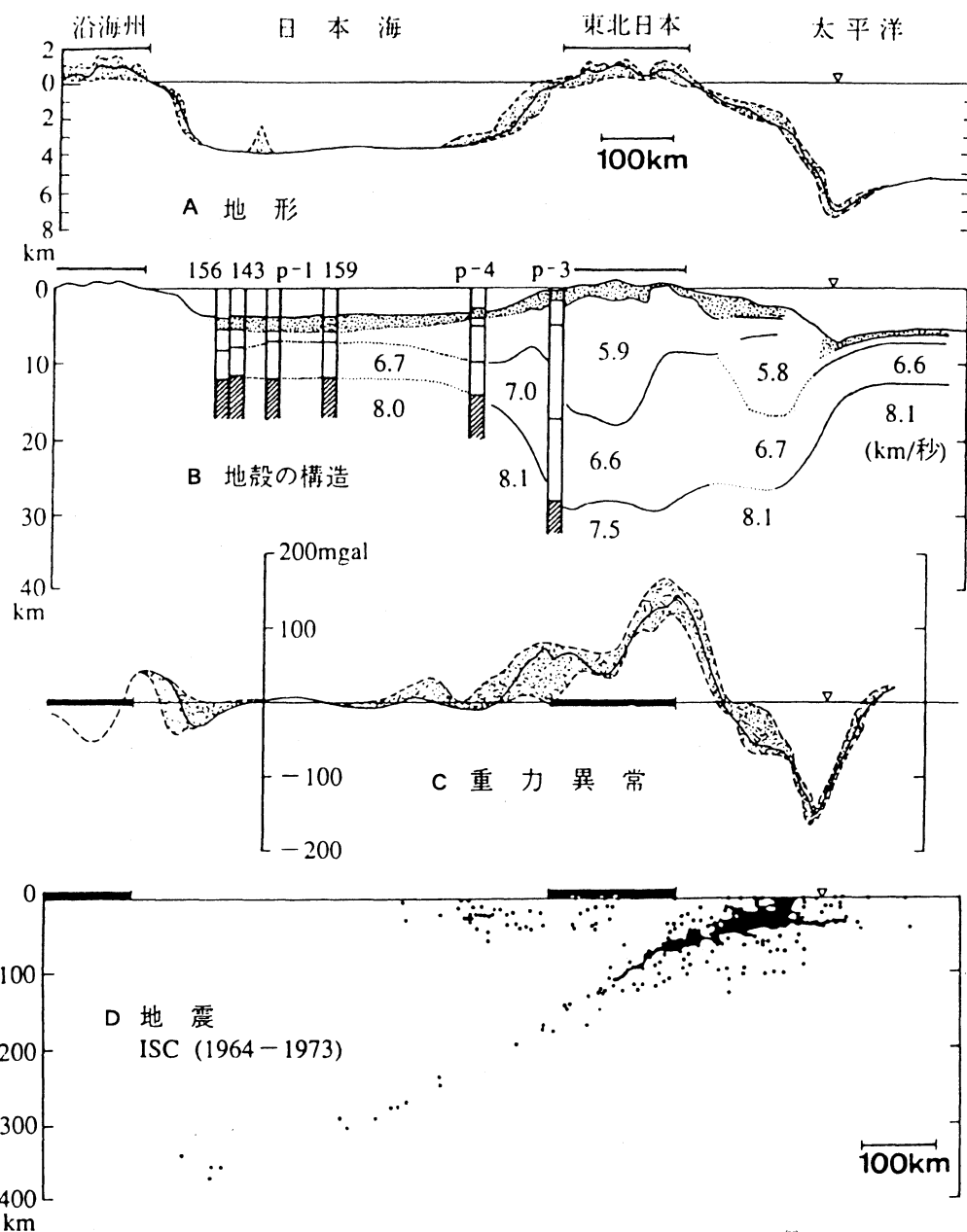


図5 東北日本から沿海州にかけての地球物理的断面図 (Yoshii, 1979による)

A: 地形、B: 地殻の構造、C: 重力異常、D: 地震

相違が生じる要因として重要視している。沈み込みの進行に伴い付加帯が成長・増大を続けていく。また、活発な酸性火山活動が生じ、深部には花崗岩質の深成岩体が形成される。このような過程そのものが造山運動であり、大陸地殻が成長していくことを意味する。なお、収束境界における大地形の特徴は沈み込むプレートの年代や速度、角度などの影響によって複雑なも

のになると推定される。貝塚⁵⁰⁾(1994)は島弧—海溝系についてのモデルを提案している。沈み込み帯では、海溝から200km程度内陸側に生じる火山フロントを境に、海側の冷たく固い外帯(弧)と暖かく軟らかい内帯(弧)とが区別される。また、斜め沈み込みが生じている地域には、中央構造線やスマトラ断層のような横ずれ成分が卓越する島弧中央断層が生じることが多い(貝塚⁵¹⁾、1972; Kaizuka⁵²⁾, 1975)。

④衝突期：海洋底が縮小して狭くなるとともに、島弧や大陸が接近してくる。一部では弧同士、大陸と弧との衝突が始まり、ついには大陸同士の衝突へと進んでいく。衝突によって地殻は厚化し、強い圧縮応力が作用するようになる。このため、隆起運動が顕著になり大規模な山脈系が形成されてくる。海洋が完全に消滅すると、両者の境界は縫合帯となり、下方からオフィオライトが貫入してくる。このような現象はインドとユーラシアとが衝突しつつあるヒマラヤ地域に進行中の過程そのものといえる(木崎編⁵³⁾, 1988)。ここにおける強力な押し出し力はチベットやインドシナの地塊を東へ押し出すとともに、内陸部の約1000km以上にわたる地域のテクトニクスを支配している(図6)。このような衝突を繰り返すことによって超大陸が形成され

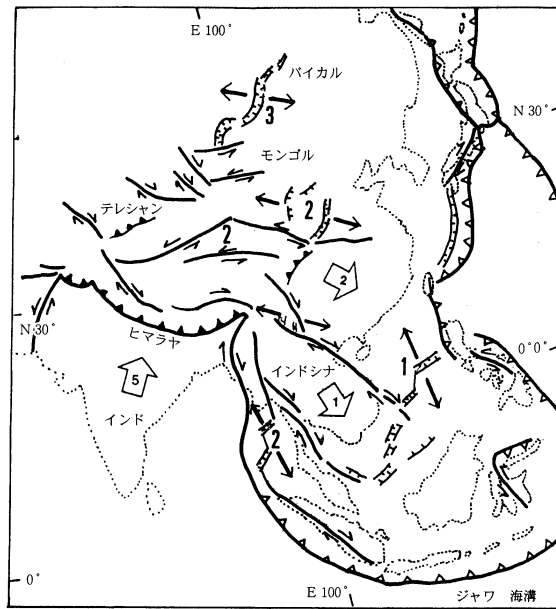


図6 インド-ユーラシア両プレートの衝突とアジアのテクトニクス (Tapponnier et al, 1986⁵⁴⁾を改変)

ていく。現在から50Ma 後にはオーストラリアが、200Ma 後には北米大陸がユーラシアに衝突し、太平洋は完全に閉じてアマシア仮想超大陸が形成されると予想される。

5. おわりに

比較変動地形研究は、ウィルソンサイクルの各段階における変動地形の特色と地形構造を明らかにし、大地形から微小地形までの形成過程を明らかにすること、それらを比較・検討して変動地形の進化系列に関するモデル化をおこなうことである。変動地形はプレート境界部に特

微的に発達し、ここにおける地球科学的諸現象が変動地形形成の主要因であることは論をまたない。したがって、研究地域をプレート境界域に限り、進化系列の各段階を代表する典型的な変動地形が発達する地域を選択、調査することが重要であろう。

今後は、この方向に沿って代表的な地域の変動地形を取り上げ、大地形から微小地形にいたるスケールごとの地形構造を把握すること、現地調査を中心に第四紀における地殻変動の諸性質と形成過程を明らかにすること、それらの結果にもとづいてグローバルな視点から変動地形の進化モデルや地域性を比較・検討する研究を進めることが必要である。その成果を集積、体系化することによってグローバル変動地形学 (global tectonic geomorphology) が確立・進展していくことが期待される。

注

- (1) 辻村太郎(1933)『新考地形学 第二巻』、古今書院、598p。
- (2) 金子史朗 (1967)『構造地形学』、古今書院、260p。
- (3) Cotton, C.A. (1950) Tectonic scarps and fault valleys, Bull, Geol, Soc, Ame, 61, 717~758.
- (4) Cotton, C.A. (1953) Tectonic relief: with illustrations from New Zealand, Geogr, Jour, 119, 213~222.
- (5) 吉川虎雄・貝塚爽平・杉村 新・太田陽子・阪口 豊(1973)『新編日本地形論』、東京大学出版会、415p。
- (6) Ota, Y. and Kaizuka, S. (1991) Tectonic geomorphology at active plate boundaries— Examples from the Pacific rim, Zeitp Geomor, N.F. Suppl-Bd, 82, 119~146.
- (7) Keller, E.A. and Pinter, N. (1996) *Active Tectonics*, Prentice Hall. 338p
- (8) 貝塚爽平(1990)序説：変動地形研究、『変動地形とテクトニクス』、1~17, 古今書院。
- (9) 貝塚爽平(1998)『発達史地形学』、東京大学出版会、286p。
- (10) 安藤雅孝(1979)日本列島最近50万年の応力場、月刊地球、1、541~546。
- (11) 竹内章(1981)広域応力場の変遷と堆積盆のテクトニクス、地質雑、87、737~751。
- (12) 竹内章 (1984) 古応力場 I、『アジアの変動帯—ヒマラヤと日本海溝の間—』、293~312、海文堂。
- (13) 平野昌繁(1984)古応力場 II、『アジアの変動帯—ヒマラヤと日本海溝の間—』、313~325、海文堂。
- (14) 貝塚爽平(1961)日本の新期洪積段丘にみられる波状の変形、『辻村太郎先生古稀記念地理学論文集』、119~131、古今書院。
- (15) 笠原慶一・杉村新編(1979)『岩波講座地球科学10、変動する地球 I—現在および第四紀—』、岩波書店、289p。
- (16) 藤田和夫・太田陽子(1975) 第四紀地殻変動、『日本の第四紀研究 その発展と現状』、127~152、東京大学出版会。
- (17) 杉村新(1973)『大地の動きをさぐる』、岩波書店、236p。
- (18) 松田時彦(1969)活断層と大地震—地震現象解明のために—、科学39、398~407。
- (19) 藤田和夫・杉村新・垣見俊弘・松田時彦編(1976)『断層と地震』、地質学論集第12号、日本地質学会、198p。
- (20) 活断層研究会編(1980)『日本の活断層—分布図と資料—』、東京大学出版会、363p。
- (21) 藤田和夫(1983)『日本の山地形成論 地質学と地形学の間』、蒼樹書房、466p。
- (22) 藤田和夫編著(1984)『アジアの変動帯—ヒマラヤと日本海溝の間—』、海文堂、400p。
- (23) 阿部勝征・岡田篤正・垣見俊弘編(1985)『地震と活断層』、アイ・エス・ユー、760p。

- (24) 日本第四紀学会編(1987)『日本第四紀地図』、東京大学出版会。
- (25) 加藤碩一(1989)『地震と活断層の科学』、朝倉書店、280p。
- (26) 米倉伸之・岡田篤正・森山昭雄編(1990)『変動地形とテクトニクス』、古今書院、245p。
- (27) 岡田篤正・安藤雅孝(1979)日本の活断層と地震、科学、49、158~169。
- (28) Kaizuka, S. and Imaizumi, T. (1984) Horizontal strain rates of the Japanese Islands estimated from Quaternary fault data. Geogr.Rept,Tokyo Metropol,Univ, 19,43~65.
- (29) 松田時彦・衣笠善博(1988)第四紀テクトニクスの特徴と問題点、第四紀研究、26、251~254。
- (30) 松田時彦(1975)活断層から発生する地震の規模と周期について、地震(第2輯)、28、269~283。
- (31) 竹内章(1999)日本列島のネオテクトニクスと構造区、月刊地球、21、537~542。
- (32) 瀬野徹三(1987)日本付近の新プレート境界と50万年前の変動、科学、57、84~93。
- (33) 上田誠也・杉村新編(1973)『世界の変動帯』、岩波書店、387p。
- (34) 上田誠也(1989)『プレート・テクトニクス』、岩波書店、268p。
- (35) 貝塚爽平編(1997)『世界の地形』、東京大学出版会、364p。
- (36) Park, R.G. (1988) *Geologic Structure and Moving Plates*, Blackie, 337p.
- (37) Morisawa, M. and Hack, J.T., eds.(1985) *Tectonic Geomorphology*, Allen & Unwin, 390p.
- (38) Ollier,C.D.(1981) *Tectonics and Landform*, Longman, 324p.
- (39) Selby, M.J. (1985) *Earth's Changing Surface*, Oxford Univ,Press, 607p.
- (40) Summerfield, M.A. (1991) *Global Geomorphology*, Longman, 537p.
- (41) Yeat,R.S., Sieh, K. and Allen,C.R. (1997) *The Geology of Earthquake*, Oxford Univ, Press, 568p.
- (42) 丸山茂徳(1993)『46億年地球は何をしてきたか?』、岩波書店、134p。
- (43) 木村学(1997)テクトニクスと造山運動、『岩波講座地球惑星科学9地殻の進化』、187~276。
- (44) 磯崎行雄(1998)日本列島の起源と付加帯型造山運動の成長—リフト帯での誕生から都城型造山運動へ—、地質学論集、第50号、89~106。
- (45) 丸山茂徳・磯崎行雄(1998)『生命と地球の歴史』、岩波新書、275p。
- (46) Dewy,J. and Spall,H. (1975) Pre-mesozoic plate tectonics: How far back in earth history can the Wilson Cycle be extend? *Geology*,3,422~424.
- (47) Bird, J.M. (1987) Wilson Cycle, in *Encyclopedia of Structural Geology and Plate Tectonics*, Van 836~838, Nostrand Reinhold.
- (48) 杉村新(1987)『グローバルテクトニクス 地球変動学』、東京大学出版会、250p。
- (49) Condie, K.C. (1982) *Plate Tectonics & Crustal Evolution*, Second Edition, Pergamon Press, 310p.
- (50) 貝塚爽平(1994)太平洋周辺地帯にみられる第四紀地殻変動の諸様式、地学雑、103,770~779。
- (51) 貝塚爽平(1972)島弧系の大地形とプレートテクトニクス、科学、42、573~531。
- (52) Kaizuka,S.(1975) A tectonic model for the morphology of arc-trench systems, especially for the echelon ridges and mid-arc faults, *Jap, Jour, Geol & Geogr*,45,9~28.
- (53) 木崎甲子郎編著(1988)『上昇するヒマラヤ』、築地書館、214p。
- (54) Bird, J.M. and Dewey,J.F. (1970)Lithosphere plate-continental margin tectonics and the evolution of the Appalachian orogen, *Bull, Geol,Soc, America*, 81,1031~1060.
- (55) Yairi, K. (1979) The East African rift system, in *Geological Structures*, 16~31, Wiley.
- (56) Burke, K. (1980) Intracontinental rifts and aulacogens. in *Continental Tectonics*, 42~49.
- (57) Yoshii, T. (1979) A detailed cross-section of the deep-seismic zone beneath northern Honshu, Japan, *Tectonophysics*, 55, 349~360.
- (58) Tapponier, P., Peltzer, G. and Armijo, R. (1986) On the mechanics of the collision between

比較変動地形研究の目的と方法 (植村善博)

India and Asia, in *Collision Tectonics*, Geol. Soc, Special Publication, 19, 115~157.

(うえむら よしひろ 史学科)

2000年10月18日受理