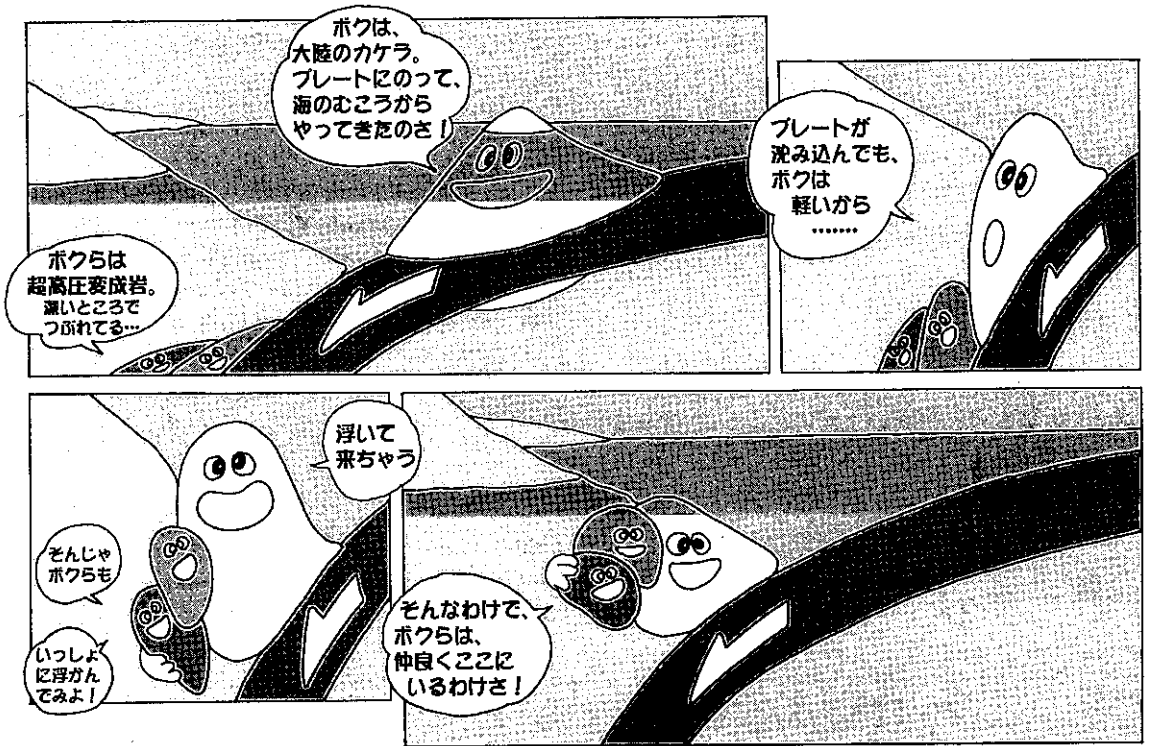


まじめなインドネシアの地質

“インドネシア白亜紀付加体地質紀行-総集編”

脇田 浩二¹⁾



第1図 “大陸のかけら” くの冒険 (河村幸男氏作画)。

プロローグ

インドネシアの白亜紀付加体地質紀行をこれまで4編に分けて書いてきた。本人はいたって真面目だったのだが、「ふざけていて内容がないよう!」なんていう一本気な人が沢山いらっしまったようだ。私も心から反省して、真面目にまじめにインドネシアの地質を取り上げることにした。これで間違いなくまじめな地質学者への仲間入りをさせてもらえるはずだ。

そういう訳で、今回は話のマクラがない。オチもない。マクラがないとゆっくり眠れない人もいるようだけれども、今回は大丈夫。私が真面目にまじめ

に地質を語るの、すぐにも眠れるはずだ。オチがないと読み終わった気がしないという人もいるが、これも心配いらない。真面目にまじめに書いたので、最後まで読み通せる人はいない。

インドネシアの地質のすべてを書くのは、本が一冊どころか、百科事典ができてしまうほど大変な仕事だ。書くのも大変だが、読むのはもっと大変だ。しかし、そんな心配もいらない。書いている本人が大した知識を持ち合わせていないのだ。「はじめに」と書き始めたら、次に「おわりに」と書こうか? と思っているほど、ささやかな知識を持ち合わせていると自負している。

1) 産総研 地球科学情報研究部門

キーワード: インドネシア, 白亜紀, 付加体, 微小大陸片, ゴンドワナ, 衝突, メランジュ, 放散虫, チャート, 超高压変成岩

「はじめに」と「おわりに」だけではあんまりだろうという良心はわずかにもっているのです、こうしてブログをだらだら書いている。しかし、これも限界だ。しかたがないから、そろそろ本文を書き始めよう。みなさんも、ここまで読んだのだから、諦めて読み続けてみよう。内容に失望しても、こんな文章をがんばって読んだという、自分自身の忍耐力にきっと満足感を覚えるだろう。今後の人生にきっとプラスになるはずだ。みなさんのお役に立てて幸いである。

地球の歴史と東アジア

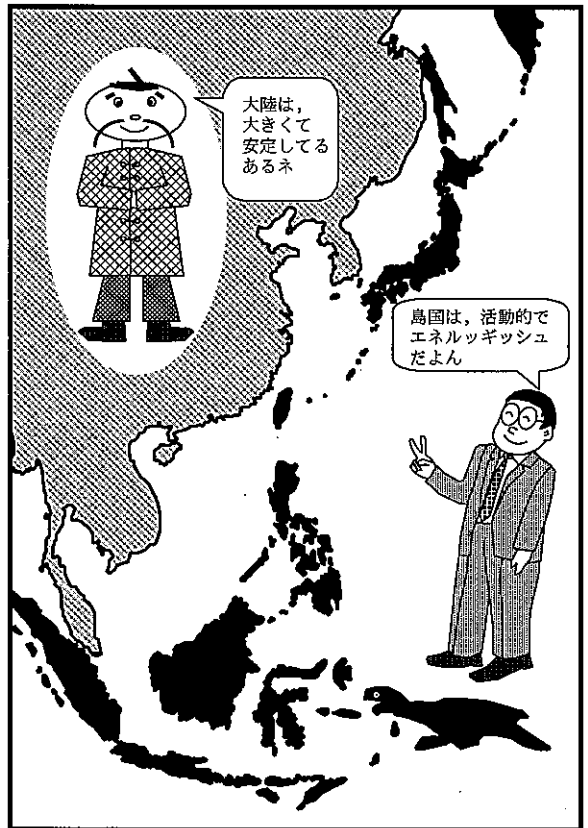
地球上には海と陸があって、私たちはふだん陸（陸地）の上で暮らしている。陸地は、地球表面の3割しか占めていないが、私たちにとってはかけがえない生活の場である。その陸地がどのようにして現在の形になってきたかを知る手がかりが、これからお話すインドネシアの地質に隠されている。そして、陸地の歴史はそのまま地球の歴史へと繋がっている。

約46億年前、地球は銀河の塵を集めて星になった。生まれたての星は熱く燃えるマグマの海に覆われていたと言われている。約6億年の時を経て、地球表面はやや冷えて固い岩石になった。そして固い岩石はプレートとして地球内部と連動して動き、地球上で現在見られるようなプレートの運動を開始したらしい。その頃には、地球は水をたたえ、海に覆われるようになっていた。水の惑星の誕生である。

最初に地球を覆ったプレートは、成分は多少異なっていたが現在の海の底と同じような海洋プレートだった。海洋プレートに対して海洋プレートが沈み込み、その境界部に火山が噴火し、付加体が形成される。火山の地下のマグマだまりは冷えて、花崗岩になっていく。こうして、40億年前ころには、最初のそして小さなちいさな大陸地殻が島弧という形で形成されたはずだ。

地球のあちらこちらで形成された島弧は、離合集散を繰り返しながらも、次第に融合してより大きな陸地になっていったと想像できる。そして現在よりも約19億年前には、ついにローレンシアという超大陸が出現したと言われている。

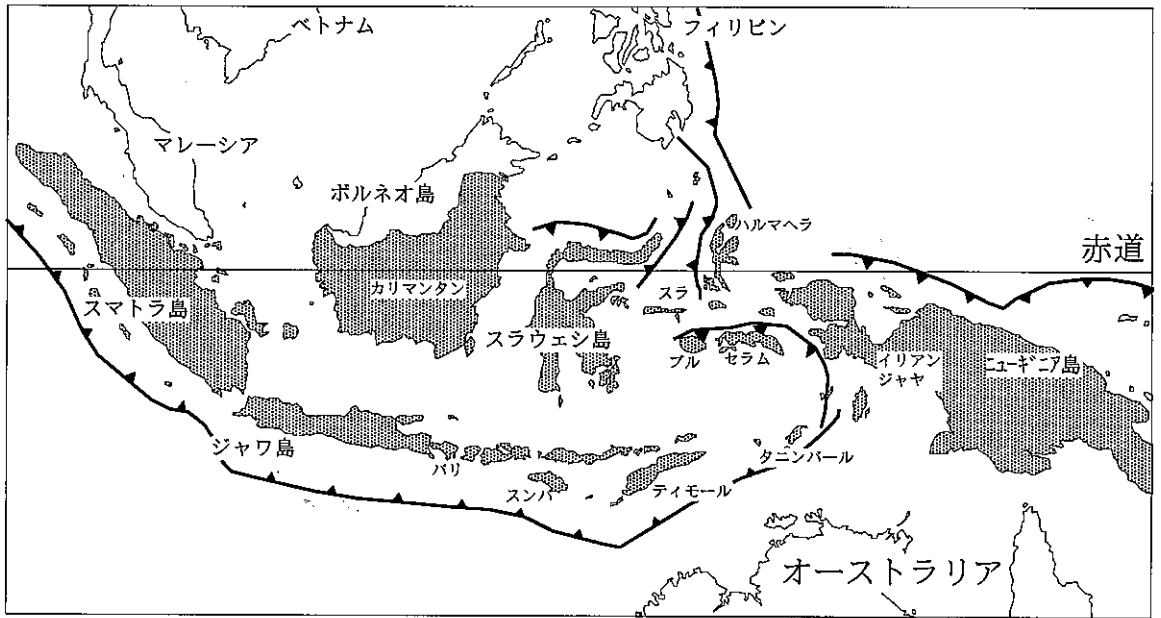
ローレンシアが形成された後も、プレートの動きに伴って、新たな島弧が形成されたり、爆発的な火



第2図 アジアの大陸地域と島弧地域、それぞれ地質が異なる。

成活動があったりしながら、陸地は次第に広がり、さらに19億年の年月を経て地球の表面を5大陸が覆う現在の姿になってきた。

日本からインドネシアにかけての西太平洋の地域には、地球上に最初の島弧が出来はじめてからの40億年の歴史で、大陸成長に大きな役割を果たしたと考えられる多くの地質現象が、観察できる。プレートの相互作用によって、引き起こされる付加体の形成や火山活動、島弧や大陸の離合集散など、ダイナミックな事件が現実起こり、生で観察できる場所である。このような現象は、アメリカやロシア、中国といった大陸地域の国々では、あまり観察できない。日本やインドネシア、そしてフィリピンなどの小さな島国に与えられた特権である(第2図)。ここでは、インドネシア地質紀行と銘打ったシリーズでみてきたインドネシアの付加-衝突体の研究のまとめをそのような観点から行ってみようと思う。



第3図 インドネシアの島々の分布と名前.

インドネシア、フィリピンそして日本

インドネシアには、1万3千を越す大小さまざまな島々がある(第3図)。アジアではほかに日本やフィリピンも同じような島国である。同じアジアでも、中国やインドシナ地域の国々のように大きな大陸の上の国々とこれらの島国とでは、気候や生活環境などが大きく異なっている。こうした地形の上での違いは、当然構成している地層や岩石など地質の違いを大きく反映している。

インドネシア、日本、フィリピンといえば、地震や火山、津波といった地質災害を非常に多く受けている国々である。一方、中国や韓国、ベトナムやラオスにも地震はあるが、インドネシアや日本などに比べて頻繁ではなく、活火山に至ってはとてまもない存在である。

インドネシアや日本、フィリピンといった国では、周辺の海域で海洋プレートが海溝で沈み込んで海溝の近傍で巨大地震を発生させ、海溝に平行して活発な火山活動を引き起こしている。

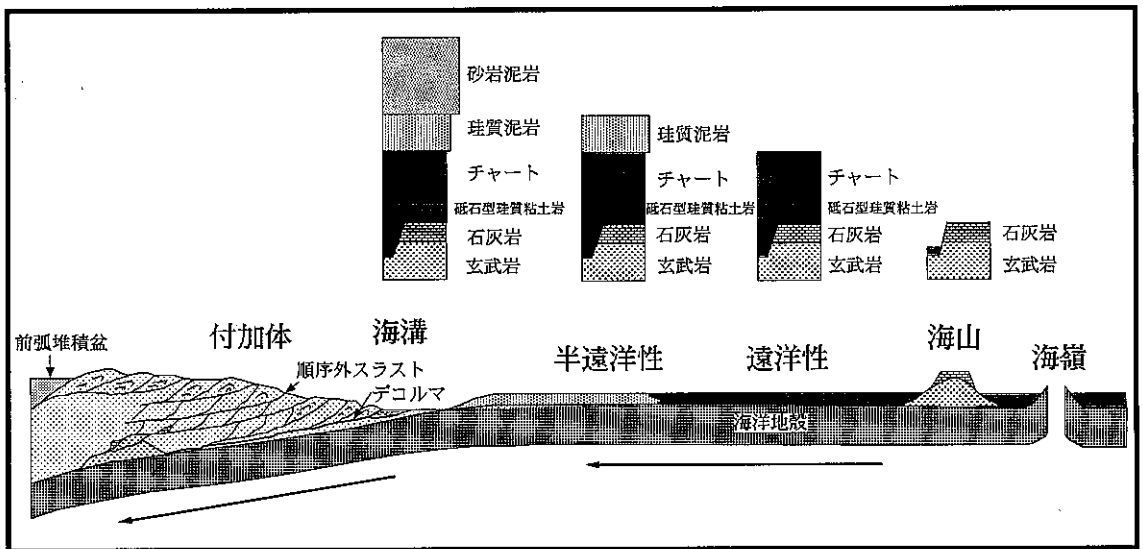
太平洋を取り巻く地域は火の環(Ring of Fire)と呼ばれ、同じように火山列が海溝に沿ってできている。インドネシアや日本、フィリピンなど太平洋の西側では、火山列の他に日本海のような背弧海盆があり、その前面に島々がアーチ状に並ぶ島

弧が海溝に沿って形成されている。

このように現在の地質条件が類似しているインドネシア、日本、フィリピンでも、その成り立ちは必ずしも同じという訳ではなく、それぞれ少しずつ異なる歴史を有している。

日本列島の基盤を構成する地層や岩石は、2億年以上も前からアジア大陸の東縁で蕭々と沈み込んでいた海洋プレートの作用によって海溝の陸側で形成された付加体と火山フロントの周辺及びその地下で形成された火成岩から主に構成されている。付加体というのは、陸側から河川を通じてもたらされた土砂が海溝付近に堆積し、その土砂が海溝で沈み込む海洋プレートの上の堆積岩や火山岩と混じりあい、陸側に張り付く(付加する)ことによって形成された地質体のことである(第4図)。

日本には、現在のところペルム紀の付加体、ジュラ紀の付加体、白亜紀(一部古第三紀)の付加体、そして新生代(新第三紀以降)の付加体などが知られている(第5図)。それぞれの付加体の形成に対応した火成作用によって形成された岩石やその時代の被覆層も知られている。日本海の形成や伊豆-マリアナ弧の衝突といったイベントが新生代に起こっているが、日本列島の基礎を成す地層や岩石は、基本的に海溝に沿った海洋プレートの沈み



第4図 付加体の形成過程と海洋プレート層序(脇田, 2000より).

込みとそれに伴う付加作用によって形成されたといえる。ジュラ紀の付加体は、ロシア極東からフィリピン西部まで分布しており、白亜紀の付加体はインドネシアにも分布している(第5図)。

フィリピンは、パラワン島に分布するジュラ紀付加体を除くと、その基盤を構成する岩石の大半は、白亜紀の頃、現在のインドネシアよりずっと東の南太平洋で、火山性の島弧(火山弧)として生まれた。当時の海溝に沿ってバラバラに形成された火山弧が次第に北東に移動する過程で寄り集まって現在のフィリピンの姿になっていった(Hall, 1996)。

インドネシアは、日本やフィリピンとその成り立ちが似ている部分もあるが、いくつかの点で異なっている。なにぶんインドネシアはその広がり東西5,000kmもある。このことは長さにして地球外周の8分の1を覆っていることを意味している。国土の広さも日本の約5倍もある。島が多く国土が広い分だけ、より複雑な歴史を持っていることが容易に想像できる。

インドネシア周辺の地質をわかりやすく示すためにいくつかの部分に分けて解説しよう。第6図をみていただきたい。大きな大陸プレートが二つある。スマトラ島の大部分とカリマンタン西部にまたがる“スンダ大陸”と、リアンジャヤからティモール島にかけての“オーストラリア大陸”の延長部である。

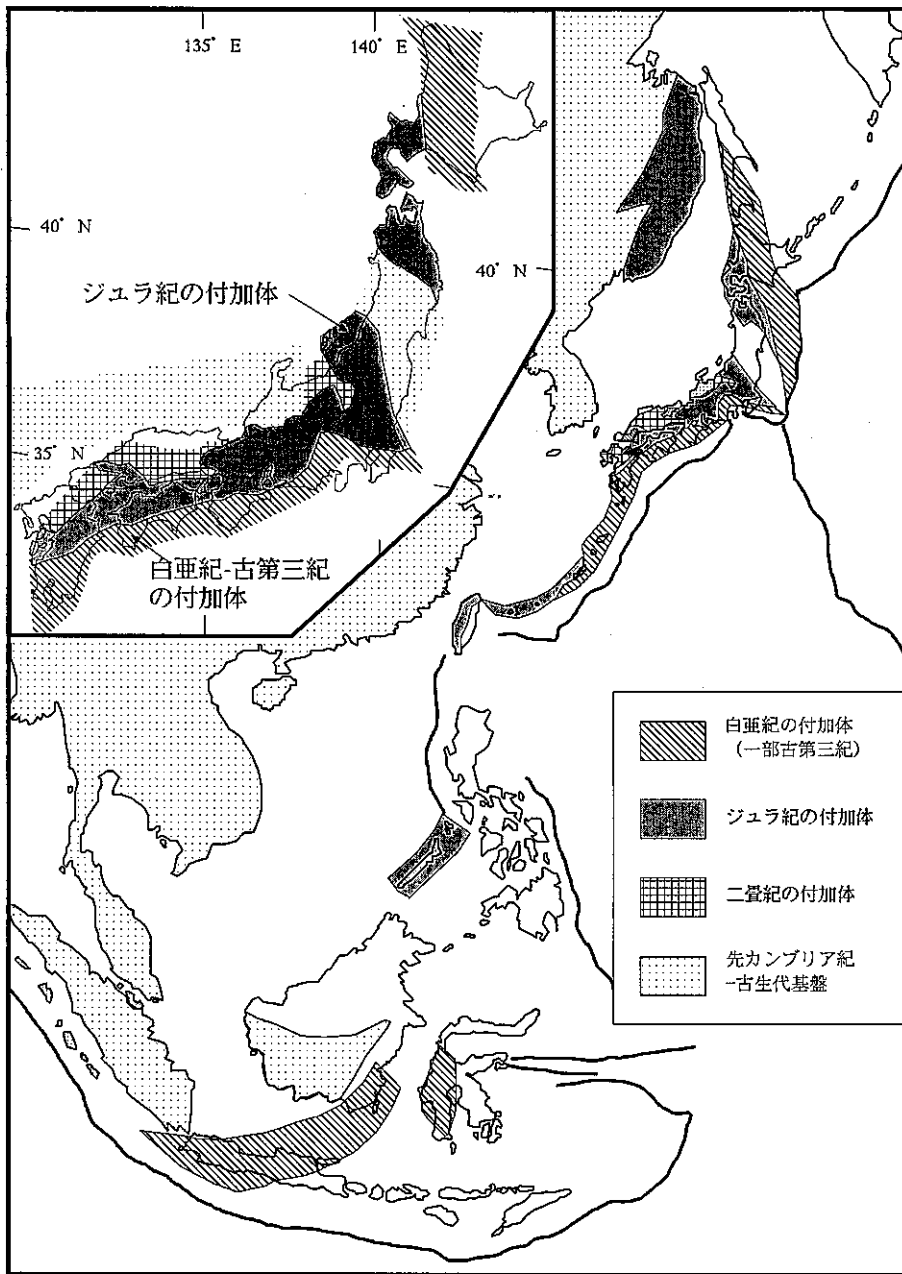
ここで言う“オーストラリア大陸”とは、地理上の

大陸ではなく、地質学的な意味で“大陸”であって、現在のオーストラリアと連続する大陸地殻を持っている地域を指している。インドーオーストラリアプレートの大陸地殻の部分という意味である。従って以下の文章でオーストラリア大陸と書かれている場合は、ニューギニア島(イリアンジャヤを含む)やティモール島の一带を含んでいる。

スンダ大陸(Sundaland)は、三疊紀後期以降に形成された東南アジアの大陸で、ユーラシアプレートの東南アジアの部分ということもできる。現在はスマトラ島とカリマンタン(ボルネオ島)の間は海水に覆われているが、更新世の低海水準時には連続した大陸として広がっていた。古生代の変成岩や堆積岩、ペルム紀—三疊紀の花崗岩などが分布しているが、白亜紀以降の火成作用・変成作用の影響も受け、新生代の地層に広く覆われている。

リアンジャヤからティモールにかけての地域は、インドーオーストラリアプレートがスンダ弧の下にまさに沈み込もうとしている地域で、オーストラリア大陸の北側縁辺部で堆積した地層が構造的に繰り返しながら分布している。この地層の構造的な上位には高圧低温型の変成岩とオフィオライトが分布している。

リアンジャヤやティモール島などオーストラリア大陸がバンダ弧に沈み込もうとしている地域では、オーストラリア大陸の北縁の堆積層は北に傾いた



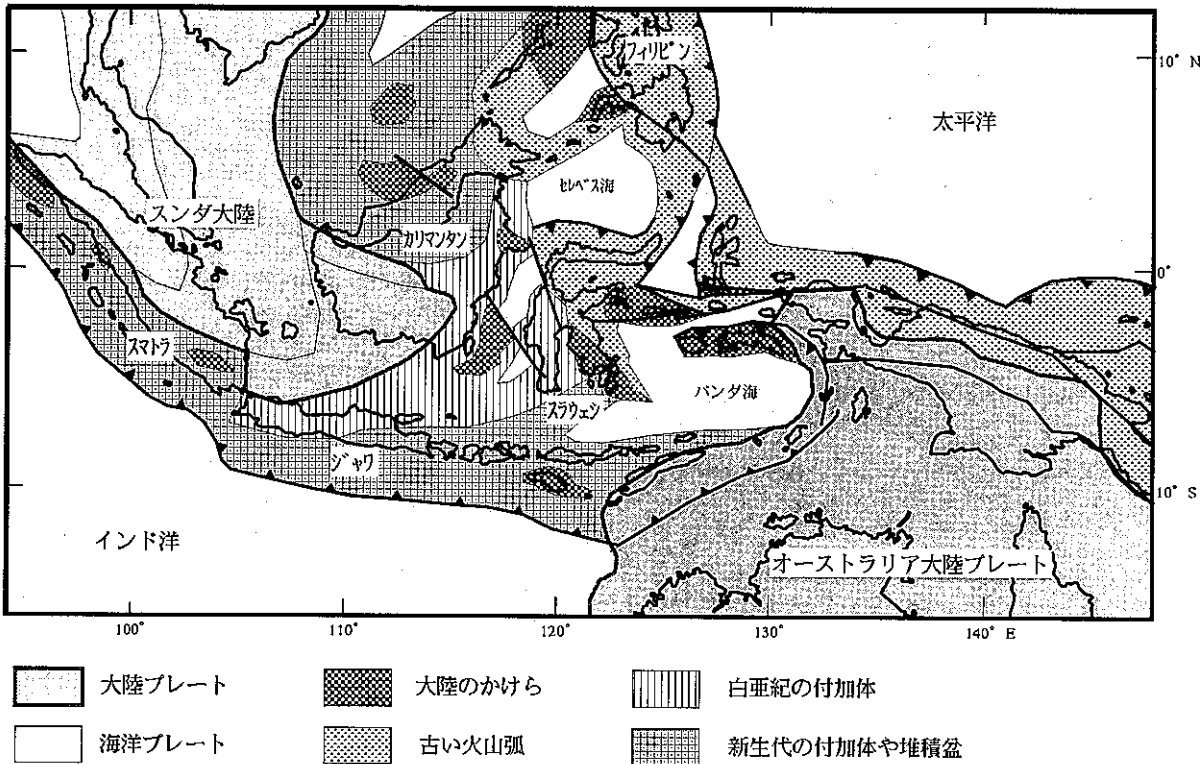
第5図 日本および東アジアの付加体の分布.

(南フェルゲンツの)^{しょうじょうだんそう}衝上断層で構造的に繰り返している。

インドネシアでは、明瞭な付加体は白亜紀になって初めて現れる。スンダ大陸の周辺に分布していて、これまでのシリーズで見てきたように、ジャワ島西部・中部、スラウェシ島南部、カリマンタン東部などに認められる。オフィオライト、放散虫チャート、

メランジュ、^{こうあつていわんがた}高压低温型の結晶片岩などが主な構成岩石である。また、インドネシアでの白亜紀の付加体形成には、^{りくげんさいせつぶつ}陸源碎屑物と海洋プレート上の岩石の単なる混合ではなく、微小大陸片(大陸のかけら)が重要な役割を果たしてきた。

インドネシアでは、新生代になると沈み込み帯が白亜紀の時期より南側に移動し、付加体はほとん



第6図 インドネシア周辺の地質概略図。

ど現在の海の下(海溝前縁部)に隠れている。スマトラ島沖のニマス島やシベルート島では、新生代の付加体の一部が外弧隆起帯の位置でわずかに海上に顔を出している。ボルネオ島のマレーシア領サバサラク地域には、ラジャン層と呼ばれる古第三紀の付加体が分布している(インドネシア白亜紀付加体紀行カリマンタン編参照)。

スンダ大陸や白亜紀の付加体はともにあらたな大陸地殻を構成し、新生代の浅海もしくは陸成堆積盆の基盤となっている。とくに第三紀には、この基盤の上に堆積盆が数多く形成された。そのいくつかがインドネシアの重要な資源である石油や天然ガスを胚胎している。

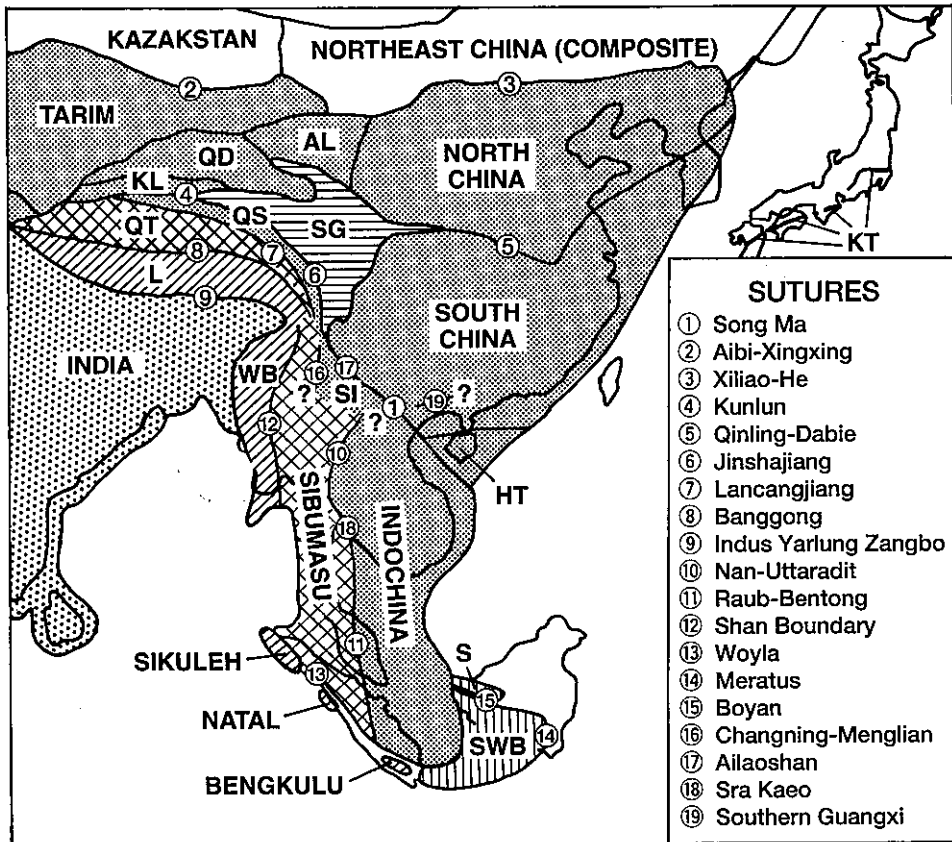
インドネシアの新生代テクトニクス概観

インドネシア及びその周辺地域の新生代のテクトニクスは、最近ロンドン大学のホール氏がまとめ、コンピューターグラフィックスなども提供している。彼やその他の研究者の最近の成果に基づいて構造発達史の要点を述べてみる(Hall, 2002)。

4,500万年前頃(始新世)には、インドネシアの東方にはフィリピン海プレートがあり、そこで現在のフィリピンの東側の部分などが形成されつつあった。そして当時のフィリピン海プレートの周囲で伊豆-マリアナ弧やルソン島、ハルマヘラ島が形成されていった。

4,000万年前(始新世末)までにフィリピン海は時計回りに回転して、3,400万年前までに西フィリピン海とセレベス海が開くのが終了する。そして3,000万年まえには南シナ海が開き始め、インド大陸の衝突によって引き起こされた構造運動(Extrusion)によってスンダ大陸の北側のブロックが東南側に押し出されていった。

2,000万年前(中新世初頭)には、オーストラリア大陸の北の端が海溝にさしかかり、バンダ弧と衝突を開始した。この時期からスル海が開き始め、続いてマカッサル海峡が開いていく。またこの頃からボルネオが反時計回りに回転し始める。1,500万年前にはタイ南部のアンダマン海が開いて、ボルネオ島やマレーシア半島、スマトラ島を含む地塊が東に押し出され、それぞれが反時計回りに回転をす



第7図 東・東南アジアの地質構造。模様をついた部分が Gondwana 大陸から分離してアジアで再集合した“大陸のかけら”。丸番号は、大陸のかけらの間に形成された縫合帯 (Metcalf, 1999 より)。

る。この回転は1,000万年前頃(新第三紀中新世後期)には終了する。

オーストラリア大陸の北縁部では、2,000万年前頃(中新世初頭)から左横ずれの断層運動がおり、大陸の破片を西に向かって移動させていく。ブトンやバンガイースラの地塊はこうして西に向かって進み、ついには1,000万年前前後(中新世後期)にはスラウェシ島東部に衝突する。マラッカ海の双方向への沈み込みがこの頃にはじまる。

現在のインドネシアの姿はこのようにして形成されてきた。スンダ大陸の周囲に白亜紀以降、付加体が形成されるとともに、微小大陸片やオーストラリア大陸の衝突が、そして遠くはインド大陸の衝突が、

様々な影響を与えてきた。次にこの大陸や大陸のかけらがどのように形成され、インドネシアに到達してきたかについて見てみることにする。

ふとる大陸vsやせる大陸—あなたはどっち?

島国のインドネシア、日本、フィリピンに対して、中国や韓国、ベトナムやラオスなどは、大きなユーラシア大陸の一部である。ユーラシア大陸のうち中国やベトナムなどがある東・東南アジアの部分のここでは“アジア大陸”と呼ぶことにする。

このアジア大陸は30ほどの大陸の破片からできている(第7図)。その1つ1つの破片は、もともと南



第8図
ゴンドワナ超大陸の構造 (高橋, 1989, Craddock, 1982より)。

極大陸とともに地球の南側で超大陸“ゴンドワナ”の一部分だった(第8図)。このゴンドワナ超大陸が何億年もかけて分裂し、その破片が北上して、アジア大陸を形成していったと考えられている。

もっとも有名な例がインド大陸であろう。インド大陸はもともと南極大陸と地続きであり、ゴンドワナ超大陸の一部を構成していた。約1億3,000万年前にインド大陸と南極大陸の間に亀裂が出来て分裂を始めた。その亀裂が次第に開いて行ってやがて海になり、その海がどんどん広がるにつれて、インド大陸は南極大陸から次第に離れていった (Smith et al., 1994)。その後インド大陸は、北へ北へと移動してついにアジア大陸の南側に到達した。インド大陸は海洋地殻より軽い大陸地殻からできているので、海溝で沈み込むことができない。その結果インド大陸はアジア大陸に、約5,000万年前頃に衝突した。

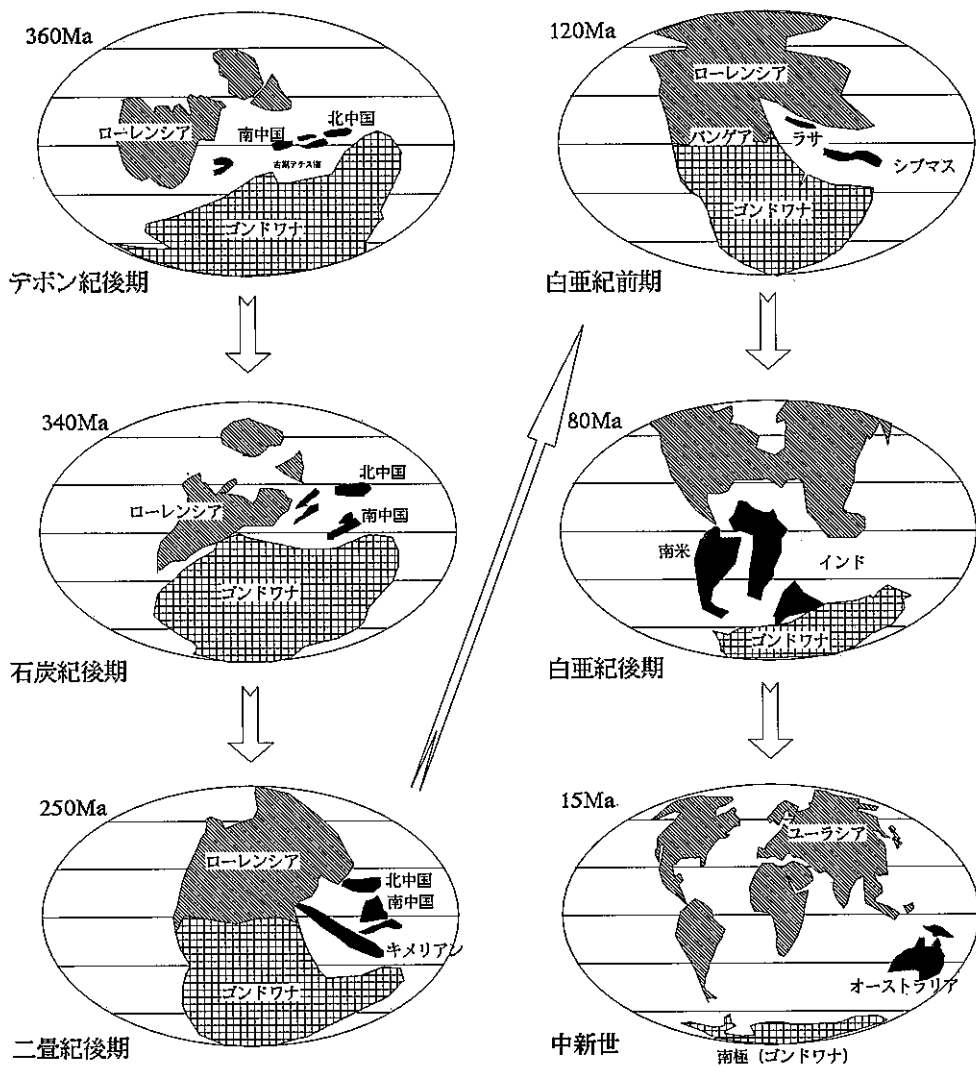
アジア大陸の他部分もほぼ同様に、ゴンドワナ超大陸から分離して北上し衝突を繰り返すことによって、次第に一塊の大陸ひとかたまりに成長していった(第9図)。例えば、中国北部(中朝地塊)ちゅうちゅうちがいや中国南部(揚子地塊)ようすうちがい、インドシナなどは、4億年ほど前(デボン紀)にゴンドワナ超大陸と分裂して北上し、2億年ほど前(三畳紀)にアジア大陸の一員になっている。中央アジアのキメリアン大陸は、中国やインドシナより遅れて、3億年ほど前(石炭紀から前期ペルム紀)にゴンドワナ超大陸から離れたが、中国やインドシナとほぼ同じく2億年ほど前にアジア大陸に衝突し合体した。チベットのラサ地域や西ビルマなどの地域は、1億5,000万年前から2億年ほど前(後期三畳紀から後期ジュラ紀)に超大陸ゴンドワナを離れ、7,000-9,000万年ほど前の白亜紀後期

にアジアへ到着している。

インド大陸やオーストラリア大陸が一番最後にゴンドワナ超大陸から分かれている。インド大陸は白亜紀に南極大陸から分裂して、アジア大陸に最近到着したばかりだし、オーストラリア大陸に至っては、やっとインドネシアの東部にさしかかったところである。

ゴンドワナ超大陸から分裂した大陸のグループと他のグループないしアジア-ユーラシア大陸との間には海があった。それぞれの海について Metcalfe 氏は名前を付けている。最初の中国、インドシナグループとその北側にもともとあったユーラシア大陸との間の海を古期太平洋 (Paleo-Pacific)、キメリアングループと中国-インドシナグループの間の海を古期テチス海 (Paleo-Tethys)、キメリアングループとラサ・西ビルマグループの間は中期テチス海 (Meso-Tethys)、ラサ・西ビルマグループとインド・オーストラリアグループの間が新期テチス海 (Ceno-Tethys)、インドと南極の間、オーストラリアと南極の間はそれぞれ、インド洋と南極海である。

それぞれの海は最後のインド洋と南極海を除いて、現在はもう存在しない。これらの海は海洋プレートが沈み込み、両端の大陸が衝突することによってこの世から消滅してしまったのだ。しかし衝突した大陸の間にかつての海を彷彿させる岩石や地層がしばしば残されている。この部分は大陸が縫い合わされた場所ということで縫合帯ほうごうたいと呼ばれている。イメージのつかめない人は、手塚治虫のマンガ“ブラックジャック”の顔を想像して貰えばいい。縫合帯では、大陸の衝突とともに多くの地層が激しく変形し、もともと存在した岩石や地層はわずかな破

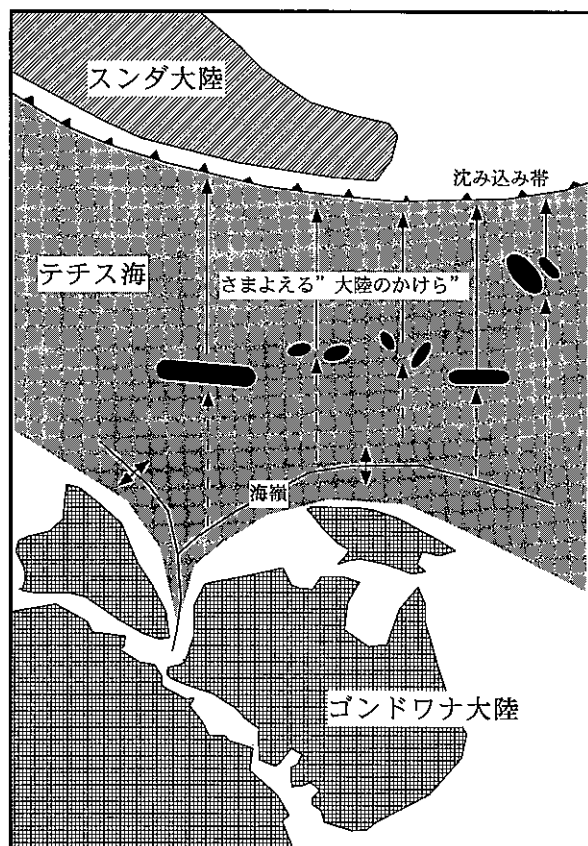


第9図 ふとる大陸(ローレンシア)とやせる大陸(ゴンドワナ)ゴンドワナとローレンシアは連結してパンゲア超大陸を形成していた時期もある。Metcalf(1996)及びSengor(1989)を改変。

片として見つけれることが多い。また、この部分は大陸が衝突して盛り上がりヒマラヤのように高い山を作ることが多いので、造山帯とも呼ばれている。古い造山帯では、既に高い山も浸食されて低くなっているの、地層や岩石からかつての造山帯だったことが偲ばれる。

ここまで説明してきたように、南極周辺にかつてあったゴンドワナ超大陸は一方的に壊れて小さくなっていき、逆にアジア大陸は次第に大きな大陸に

なっていた。ゴンドワナ超大陸は、歴史を通じてダイエットに成功したのに、アジア大陸はブクブク太っていったのである。(あなたのことではないから、ご安心を!)いまやアジア大陸は世界一の大陸“ユーラシア”の一部分として幅を利かせている。一方南極は、厳しい債務の取り立てに追われて、わずかな資産を残すのみとなっている。氷とペンギンが地元に残って頑張っているのが、唯一の救いなのだろう。



第10図 ゴンドワナ超大陸から分離して北上する“大陸のかけら”。

以上が超大陸ゴンドワナとアジア大陸のここ3-4億年間のやりとりである。それ以前はまた、パンゲアとかロディニアとか超大物の超大陸がでてくるのだが、その辺のお話は多くの文献があるので、そちらを参照していただきたい。ここでは、とりえず最近の3-4億年で我慢してほしい。大金の3-4億円なら我慢する？ もちろん私もそうである。

さて、ここで説明した大きな大陸片以外に、地図に書けないくらい小さい大陸の破片がある。スラウェシ編で紹介した、“大陸のかけら”である。インドネシア周辺の海域にはそうした大陸のかけらが点在している。これらの大陸のかけらは、アジア大陸の多くの大陸片と同じく超大陸ゴンドワナから、分離して北上してきた(第10図)。北上はしてきたが、まだアジア大陸に到着していないものたちである。まだ旅行中で、目的地に到着していないのである。

次に旅の途中の大陸のかけらがインドネシアの地質に果たしてきた役割を紹介していきたいと思う。

超大陸ゴンドワナの分身達

ゴンドワナ超大陸を構成していたと考えられる大陸の破片で、主なものは、カリマンタン西部、スマトラ島北東部、スラウェシ島の一部、バンガイースラ諸島、ブトン島、ブル島、セラム島、スンバ島、ティモール島の一部、イリアンジャヤの一部、などである(第11図)。インドネシア地域で古生代や中生代の地層のほとんどは、これらの島々に分布している。

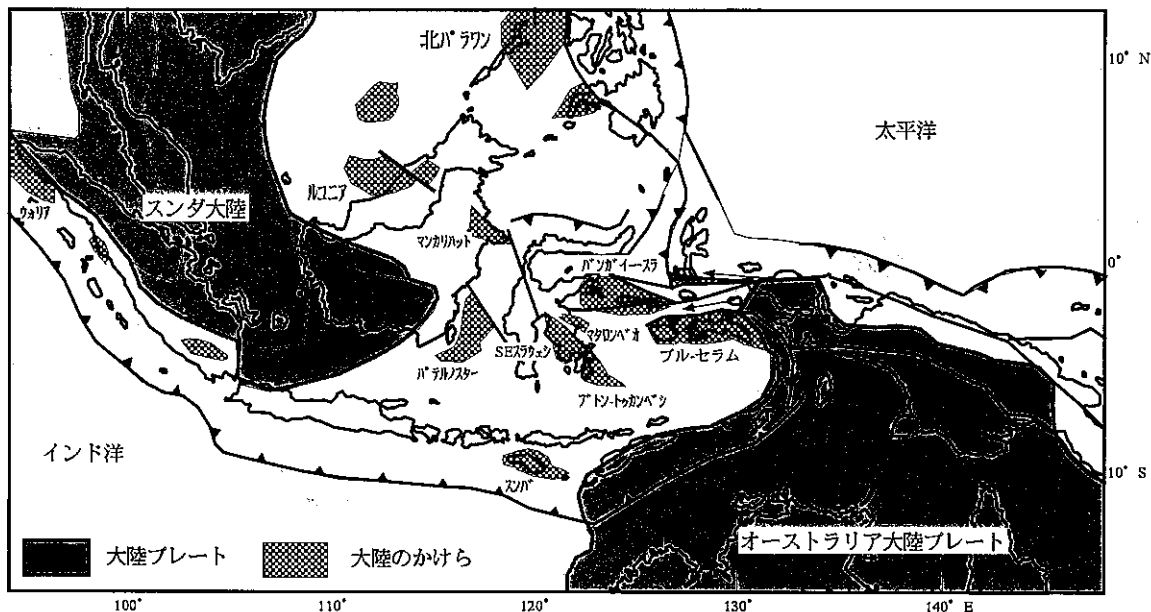
これらのうち、白亜紀以前からアジア大陸の一部であった地域は、スマトラ島北東部及び東南部、カリマンタン西部である。

スマトラ島の北東部は、タイ西部からマレーシア西部にかけて分布するシブマス地塊の南端部にあたり、東南部はインドシナ地塊の南端にあたる。シブマス地塊は、先カンブリア紀と考えられている変成岩類とカンブリア紀から始まる古生代以降の堆積岩類から構成されている。ペルム紀の氷河堆積物で特徴づけられ、ペルム紀の頃は、寒冷地域に位置していたことが分かる。インドシナ地塊は、ベトナムに先カンブリア紀の変成岩が核としてあり、その上位に古生代以降の地層が堆積している。スマトラ東南部には、このうち古生代後期以降の地層しか露出してない。

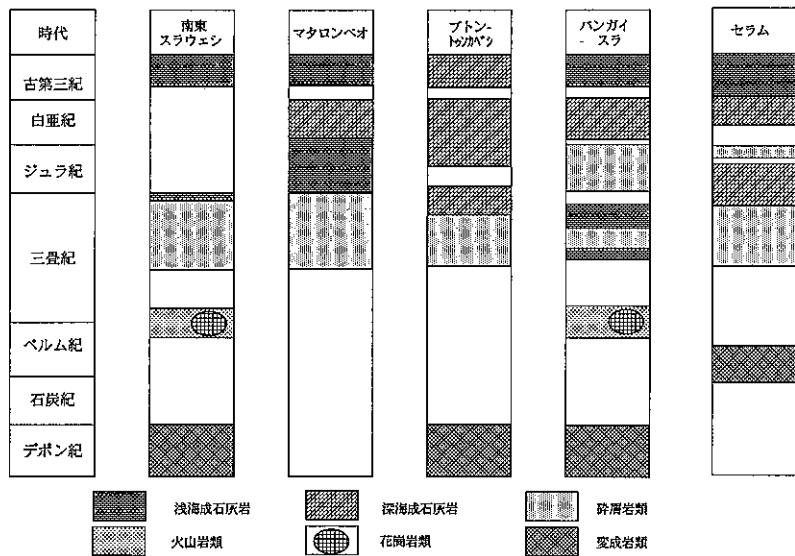
カリマンタン西部は、スマトラ島東部と同じく、インドシナ地塊の南東端という位置づけができるが、実際には古生代の変成岩を中生代の海成層が覆い、三疊紀ないし白亜紀の花崗岩が貫入している。先カンブリア紀の基盤が存在するかは不明である。

白亜紀にアジア大陸の南縁部に到着した“大陸のかけら”は、スマトラ島のうちスマトラ断層より南西側に点在するウォリア地塊、カリマンタン東部のマンカリハット地塊とパテルノスター地塊、スラウェシ島東部地塊などである。これらは後で述べる白亜紀の付加体形成と密接に関係している。このうちウォリア地塊は、白亜紀にアジア大陸に付加したと考えられており、オーストラリア北西域のエックス Maus 海台と層序がよく似ている。スラウェシ東部は、主に古生代の変成岩とそれを覆う三疊紀及びジュラ紀の浅海層から構成される。マンカリハットとパテルノスター両地塊の層序ははっきりしていない。

バンガイースラ地塊やブトン-トゥカンベシ地塊、ブルーセラム地塊は、ゴンドワナ超大陸から直接分



第11図 インドネシア周辺に点在する“大陸のかけら”と大陸プレート。



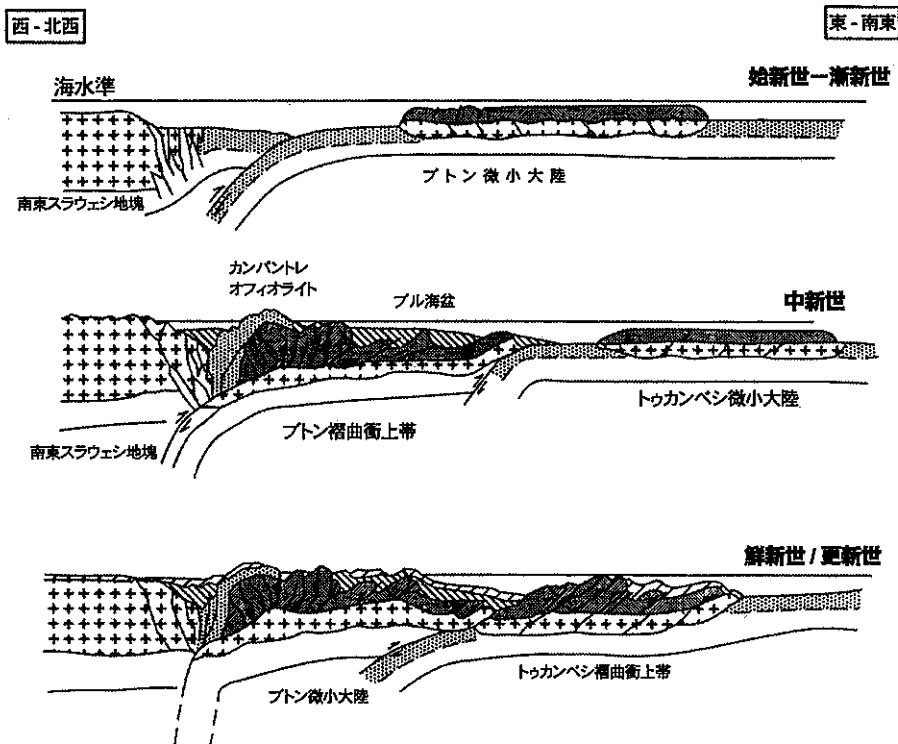
第12図
インドネシア東部に分布する“大陸のかけら”における層序 (Darman and Sidi, 2000ほか)。

裂して、インドネシアに到達した地塊ではない。これらの島々は、オーストラリア大陸の一部として Gondwana 超大陸から分裂・北上し、スンダ弧に衝突した。その後横ずれ断層によってオーストラリア大陸の北の端が切り取られ、その切り取られた破片として西に移動し、バンガイースラ地塊はスラウェシ島と衝突した。その衝突で動きを止められたその他の島々は、それぞれの場所に固定されて現在に至っている。

バンガイースラ諸島、ブトン島、ブル島、セラム

島、スンバ島、スラウェシ東部地塊は、いずれも変成岩とそれを覆う中生代の堆積岩類から構成される。最近出版されたインドネシアの地質概説 (IAGI 編) には、これらの島々の地層が対比されている (第12図)。もちろんこれらの島々の地層や岩石は、ティモール島及びイリアンジャヤ (ニューギニア島) 及びオーストラリア大陸の北縁辺部を構成する地層や岩石と当然のことながらよく似ている。

バンガイースラとブントトゥカンベシの地塊を西へ移動させたのは、フィリピン海プレートの動きとイ



第13図
スラウェシ島東南への
ブトン島の衝突。
Ali et al. (1996) fig.2.

インドーオーストラリアプレートの動きの違いによるものだ。フィリピン海プレートがインドーオーストラリアプレートに対して西側に移動しているの、バンガイースラとブトン-トゥカンベシ地塊は西へ引きずられていった。

スラウェシ島の白亜紀の付加体とこれら衝突した地塊の間には、現在オフィオライトが分布している。このオフィオライトには白亜紀のチャートを伴っていることから、付加体と衝突地塊の間にあった白亜紀の海洋地殻が陸上に衝上(オブダクト)して、オフィオライトとして露出していると解釈されている。もっとも衝上した時期については、地塊の衝突以前、以後と研究者で意見が分かれている。オフィオライトに対してもバンガイースラとブトン-トゥカンベシ地塊は西に向かってのし上げている。

ブトン島はとても小さな島である。しかしここで観察される地質構造は、イリアンジャヤの構造にとってもよく似ている。中新世にはまずブトン島の地塊が、続いて更新世にはトゥカンベシ地塊がスラウェシ島南東部に衝突する。その衝突によってそれぞれの地塊の上に堆積していた地層はパタパタと折り重なるように変形していった(第13図: Ali et al., 1996)。

みるみる上がるティモール島の怪

イリアンジャヤは、ニューギニア島の西半分のインドネシア領の名称である。島の東半分はバプアニューギニアである。ニューギニア島は、北側が古い火山弧で、中央から南半分がオーストラリア大陸(インドーオーストラリアプレートの大陸地殻部分)の北縁部に相当し、変形した大陸縁辺堆積物で覆われている。両者の境界に沿ってかつての海洋地殻であったオフィオライトや沈み込み-衝突過程で形成された変成岩が分布している。

ティモール島は、最近東側がインドネシアから独立して東ティモールとなったけれども、地質学的には連続した地層や岩石が両国にまたがって分布している。島の大部分はオーストラリア大陸縁辺の浅海で堆積したペルム紀から白亜紀地層で覆われている。この構造的な上位に高圧低温型の変成岩が重なり、島の北縁部には、オフィオライトが露出している。これらの岩石の組み合わせは、ティモール島から東に連なるバンダ弧の島々に共通で、タニンバル島まで追跡できる。堆積岩類はインドーオーストラリアプレートの上に堆積した地層で、オフィオライトや変成岩は、オーストラリアの大陸地殻が沈み

込むことによって持ち上げられた岩石である。

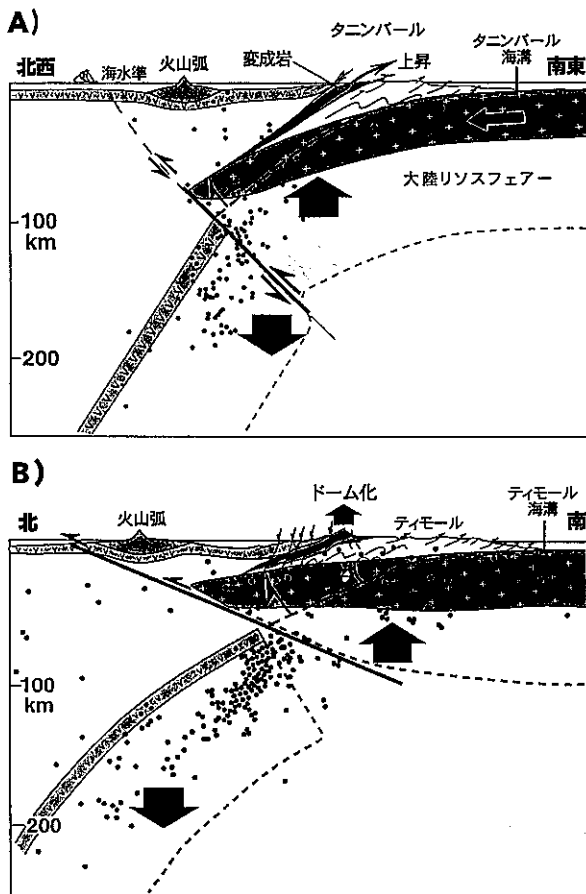
ティモール島からタニンバル島にかけてのパンダ弧の島々には、高圧低温型の変成岩が点在している。最も広く分布しているのは、ティモール島のムーティス/ロロトイ変成岩である。これらの変成岩の変成年代のうち最も若いものはAr-Ar法で測定された年代値によると550万年前のものであり、この変成岩が世界でも最も新しい時期に形成された高圧低温型の変成岩であることを示している。これらの変成岩は、どの場所でも必ず非変成の堆積岩の構造的上位に重なり、さらにその上位にオフィオライトが重なっている。そしてそれぞれの地質体間の関係は常に、堆積岩と変成岩の間が逆断層、変成岩とオフィオライトの間が正断層である。

ティモール島の地質構造については様々な見解がある。Barber博士は、以下の3つのモデルを提案している。1.単純に北側にオーストラリアプレートが沈み込みティモール島には北に傾斜した付加体が形成された。2.北側の火山弧がティモール島に対して衝上した。3.オーストラリアプレートが海洋プレートと切り離されて、リバウンドで上昇した。

物理探査の結果によると、オーストラリア大陸の前面には北傾斜の面を持つ付加体が形成されているが、より北側にいくと、地層や岩石は複数の南傾斜の逆断層で切られている。これは、オーストラリア大陸が衝突して圧縮するために形成された断層である。この結果から、Richardson & Blundell (1996)は、オーストラリアプレートが沈み込む前に、今から800万年前(中新世)の頃、オーストラリア大陸の前面にあった小さな大陸片が先に衝突して、その後オーストラリア大陸がティモール島の下に沈み込んだと考えている。

東京工業大学の丸山茂徳氏とそのグループは、高圧変成岩や石灰岩層の上昇の原因を、沈み込んでいるオーストラリア大陸をマントルに向けて引っ張っていた海洋プレートのスラブが根元で切れて、下へ沈む力を失ったオーストラリア大陸北縁部が上昇に転じたことに起因するというモデルを提案した(第14図)。これは先のBarber博士のモデルの3番目に近い。

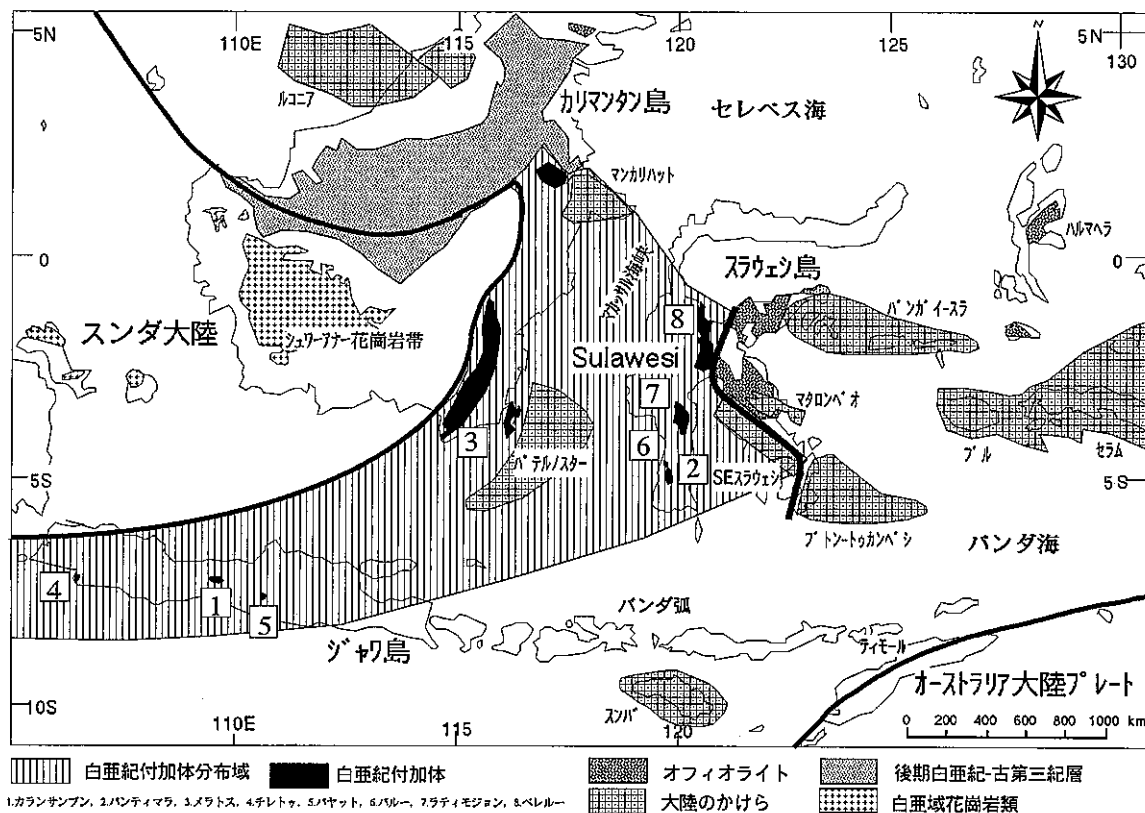
海洋プレートが切れかかっている様子は、発生する地震の震源の分布からも見てとることができる。西側のティモール島の方では、海洋プレートは完全



第14図 ティモールの下部で海洋プレートが切れ、軽い大陸部分は浮き上がろうとして変成岩の上昇をもたらす (Kaneko et al., in press).

に切れて分離しているが、東側のタニンバル島の方は、まだ切れかかった状態である。このことは変成岩の上昇年代が西ほど古く東ほど新しいなどの事実とよく一致する (Kaneko, et al., in press).

この変成岩は、オーストラリア大陸と海洋プレートが切り離されたため、軽い大陸地殻が浮き上がりリバウンドとして上昇してきた際に、沈み込みを受ける海洋地殻と沈み込む大陸地殻の間にあった地下深部の高圧型変成岩(大陸縁辺堆積物が変成したもの)が押し出されるように上昇してきたと考えられている (Kaneko, et al., in press). このことは、変成岩と堆積岩の間が逆断層で、オフィオライトと変成岩との間が逆断層であることと矛盾しない。軽い大陸地殻の上昇に起因するティモール島の急激な上昇は、その後第四紀から現在までも続いており、おそらく海面すれすれで形成された第四



第15図 インドネシア白亜紀付加体と関連する地層・岩石の分布。

紀の石灰岩と基盤の変成岩との不整合面がどんどん上昇して現在は1,250mの高さ(最近1,400mに達することが確認された;金子私信)にあることから窺うことができる。

白亜紀!それは付加と衝突の日々

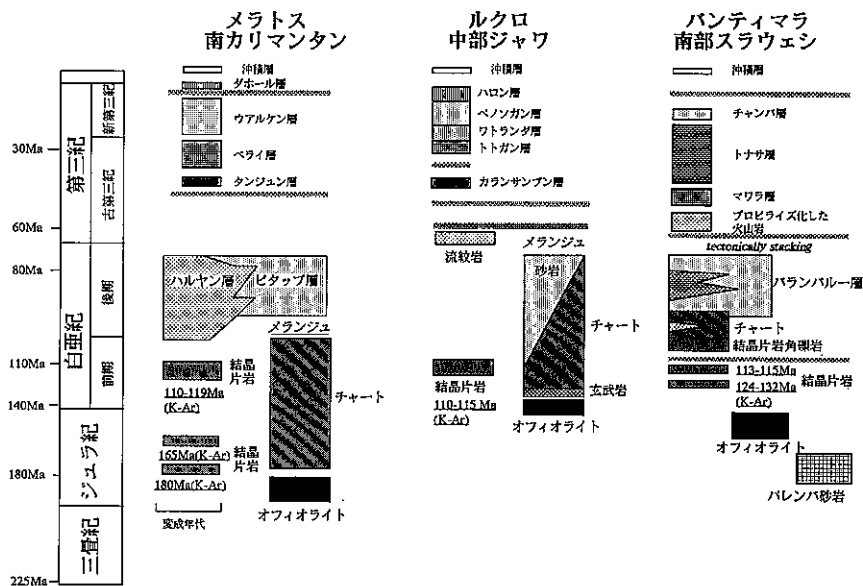
私たちが研究の主な対象としたのは、インドネシアの白亜紀付加体であった。それは、ジャワ島中部やスラウェシ島南部、カリマンタン島南部などに露出している(第15図)。それぞれの地域の地質については、これまで書いた「インドネシア白亜紀付加体地質紀行シリーズ」(地質ニュース第567, 573, 574, 576号)を参照していただきたい。主な付加体の層序をまとめると第16図のようになる。

白亜紀のインドネシアには、スマトラ島とカリマンタン西部(ボルネオ島南西部)しか存在しなかった。それも現在の位置ではなく、ボルネオ島は現在より45度時計回りに回転した形をしていたというこ

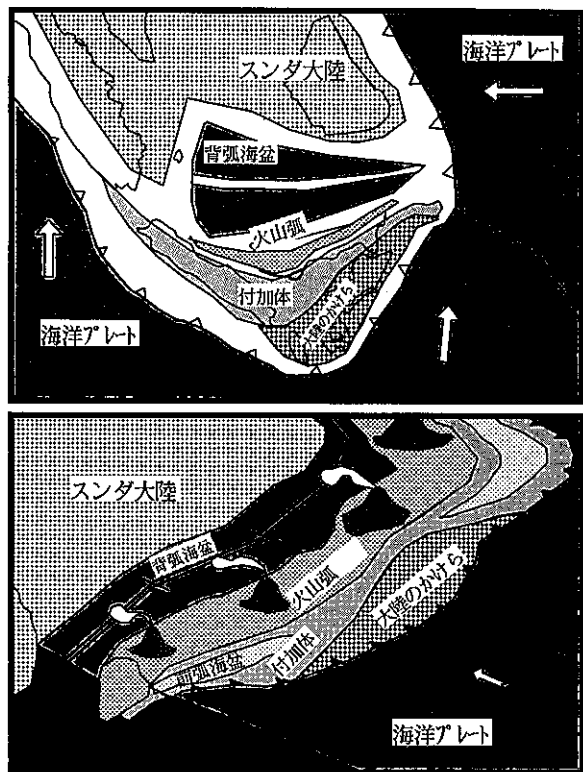
とが古地磁気の研究で分かっている。第17図に示したような状況だったのだろう。このときのスマトラ島やカリマンタン島西部からインドシナにかけて存在した古い大陸をスダ大陸と呼んでいる。

白亜紀の頃スダ大陸の回りには縁海があり、島弧があったと考えている。現在の中国大陸の回りに日本海があり、その外側に日本のような島弧がある状況と似ている。しかし、この時期の島弧は日本のような立派な島弧ではなくて、伊豆-マリアナ弧のように海の上にチョンと顔を出したいくつもの火山島の列だったと想像している。ジャワ島の付加体の砂岩が、石英を含まず、玄武岩ないし安山岩の破片と斜長石のみからなること、東カリマンタンのメランジュの岩塊として砂岩など粗粒陸源碎屑岩をほとんど含まないことから、付加体形成時には直接の後背地として成熟した島弧や大陸などはなかっただろうと想像している。

この島弧の大洋側には海溝があって、そこで海洋プレートが沈み込んでいた。ジャワ島カランサン



第16図
インドネシア白亜紀付加体の層序の対比。



第17図 インドネシアの白亜紀のテクトニックセッティング。

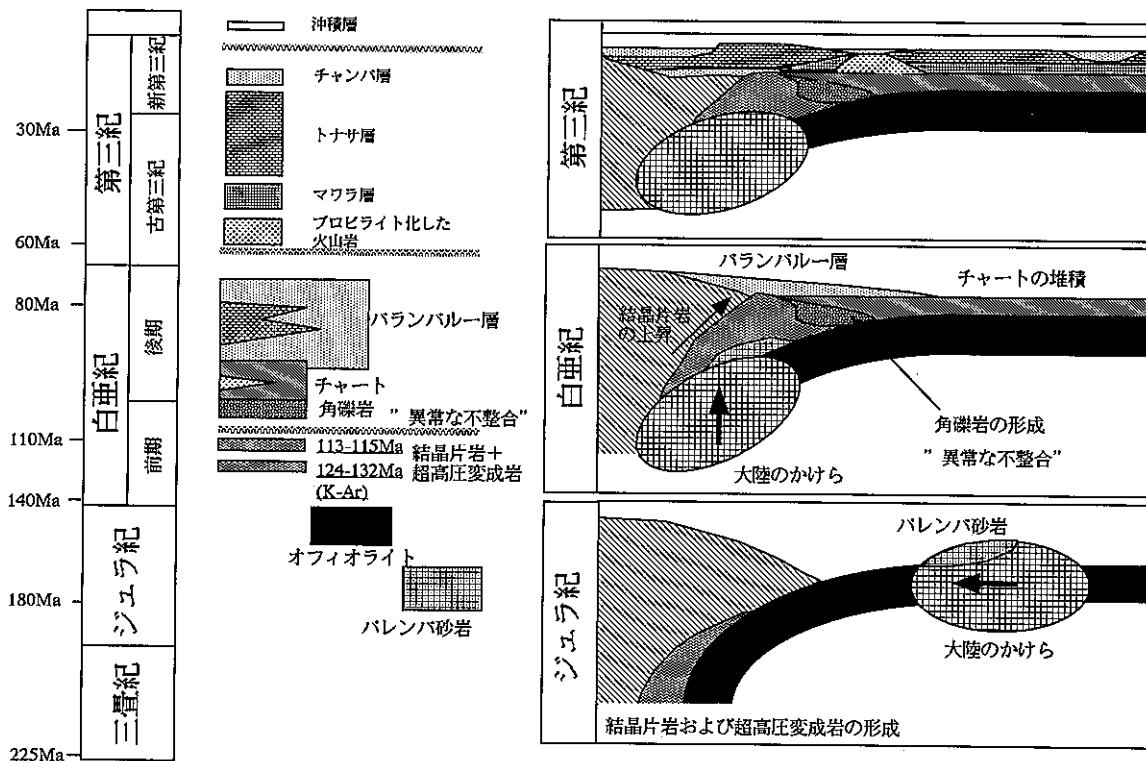
この海洋プレートの沈み込みとともに、島弧の外側(海溝の陸側)には付加体が形成された。そこでは海洋プレートの沈み込みとともに火山が活発に噴火し、地下ではマグマが形成された。ジャワ島のカラサンブン地域の白亜紀の火成岩類や東カリマンタンの火成岩類、西カリマンタンの後期白亜紀の花崗岩類などは、こうした沈み込み作用に伴う火成活動の証拠である。ここまでは、付加体を主体とする日本の地質構造ととても良く類似している。

一方、いくつかの点で日本の付加体とインドネシアの白亜紀の付加体は異なっている。その違いを特徴づけるのが、南スラウェシなどで観察される、あの「異常な不整合」やジュラ紀パレンバ砂岩層であり、超高压変成岩である。このほか南カリマンタンで発見された藍晶石-石英結晶片岩なども日本の付加体では見かけない岩石である。以下にその4つのポイントを一つずつ検討して、日本とインドネシアの中生代付加体の違いの意味を考えてみよう。

第1のポイントは、南スラウェシで観察された「異常な不整合」である。これは、世界でもまれな不整合である。普通は陸から離れた遠洋域で玄武岩の上に堆積する放散虫チャートが、結晶片岩の破片ばかりからなる礫岩や砂岩を介して、高压低温型変成岩結晶片岩の上に堆積しているのである。

変成岩の地質年代とチャートの堆積年代から上昇速度が計算できる。結晶片岩の白雲母のK-Ar年代が白亜紀前期の中頃(114-115Ma)で、不整合

ブン地域で復元された海洋プレート層序は、堆積物の付加を伴う海洋プレートの沈み込みが少なくとも白亜紀の間は継続的に行われていたことを示している(地質ニュース第567号ジャワ島編参照)。



第18図 南スラウェシ・バンティマラ地域の層序とテクトニクス。

の上に重なる地層のチャートの年代が白亜紀中頃 (100Ma) である。したがって変成岩は1,500万年間かけて、地下深部 (Arの閉鎖温度の深さ約30km) から上昇してきたことになる。変成岩の上昇速度は異常に早い訳ではないが、チャートが堆積するような陸から遠い海 (遠洋) で、変成岩がドドッと地表まで上昇してきて、海底に堆積したといった異常な事態が起こったらしい (第18図)。

第2のポイントは、パレンバ砂岩の存在である。パレンバ砂岩の地質年代は含まれるアンモナイトなどの年代からジュラ紀前期ないし中期とされている。一方、ジャワ島のカランサンブで観察された海洋プレート層序から判断して、ジュラ紀の最後期から白亜紀の後期にかけては、少なくとも海洋プレートが沈み込み、付加体を形成していたことが分かる。

つまり、付加体を形成するために海洋プレートが沈み込んでいた年代よりパレンバ砂岩は古い年代を示している。このことからパレンバ砂岩層は、付加体とは異なる場所からもたらされ、のちに付加体と混じり合った外来の (異地性の) 岩体だということが分かる。

第3のポイントは、超高压変成岩の存在である。最近の地質ニュース第569号で坂野昇平氏と榎並正樹氏が書いているように、超高压変成岩は世界の造山帯のうち限られた場所にしか知られていない。そのすべてが大陸と大陸が衝突した地帯である。インドネシアのスラウェシのように一見大陸が衝突した様子がないようにみえるところに、コース石を含む超高压変成岩が存在するのは例外中の例外と言える。

超高压変成岩は、深さ100km近くで形成されたと言われている。このような地下深部で形成された変成岩が上昇してくるメカニズムはまだ分かっていないし、私はその専門家でもない。しかし、このような超高压変成岩が大陸と大陸の衝突帯で出てくることは偶然ではないと考える。軽くて沈み込めない大陸や大陸片が海洋プレートの沈み込みに伴って、他の大陸や島弧の下に沈み込もうとする行為 (?)こそが、超高压変成岩という特異な岩石を地表にもたらしたのではないかと推論している。

第4のポイントは、南カリマンタンの藍晶石-石英結晶片岩の存在である。これは藍晶石-石英とい

う鉱物組み合わせから示唆されるように、異常に多くのアルミニウムを含み、日本などの普通の付加体の変成岩とは異なっている。これも大陸上のアルミニウムに富む組成をもったラテライトなどのような陸成層が源岩ではないかと考えられる。

このほかにも中部スラウェシのポンパンゲオ結晶片岩中には礫岩片岩がある(Parkinson, 1998)。この地域の変成岩は東に向かって粒度が粗くなり後背地である大陸片に近づいているように見える。この礫岩片岩も大陸の上の粗粒堆積層が地下深部で変成した証拠といえる。

これら4つのポイントを総合すると、“大陸のかげら”(微小大陸片)の存在がクローズアップされてくる。超高压変成岩が形成され、それが上昇する条件として、大陸の衝突と付加してその上昇という過程が想定される。ここでいう大陸とはそんなに大きなものでなくてもよいと思われる。海洋プレートやマントル物質より軽い“大陸のかげら”は、浮力の働きで付加体深部の変成岩を持ち上げて上昇する役割を担ったかもしれない。その“大陸のかげら”には、ジュラ紀のパレンバ砂岩層やアルミニウムに富む地層が堆積していたに違いない。パレンバ砂岩層は大陸のかげらが沈み込む際にはぎ取られ、付加体に紛れ込んだにちがいない。一方、アルミニウムに富む地層は、地下深部で変成岩になり、藍晶石-石英という組み合わせの変成岩になったと思われる。

“異常な不整合”では、結晶片岩の破片が大量にチャート層の堆積場に流れ込んでいることから、“大陸のかげら”の沈み込みによって上昇した結晶片岩は、海洋プレートもしくは未成熟な島弧の近傍で、地表に出てきたと考えられる。つまり、“大陸のかげら”は他の大陸に衝突したのではなく、海洋プレート縁辺の未成熟な島弧に衝突したらしい。

すでに説明したように、インドネシア周辺には、 Gondwana 超大陸から分裂し、北上してきた“大陸のかげら”が沢山点在している。Gondwana 超大陸は、デボン紀、ペルム紀、三疊紀-ジュラ紀など、地質時代に何度も分裂し、大陸の一部が分離して、海洋プレートとともに北上していった(第10図)。北上した大陸片は、アジア大陸南縁やインドネシア地域の海溝まで海洋プレートとともにやってきて衝突した。重い海洋プレートは沈み込もうとするが、軽

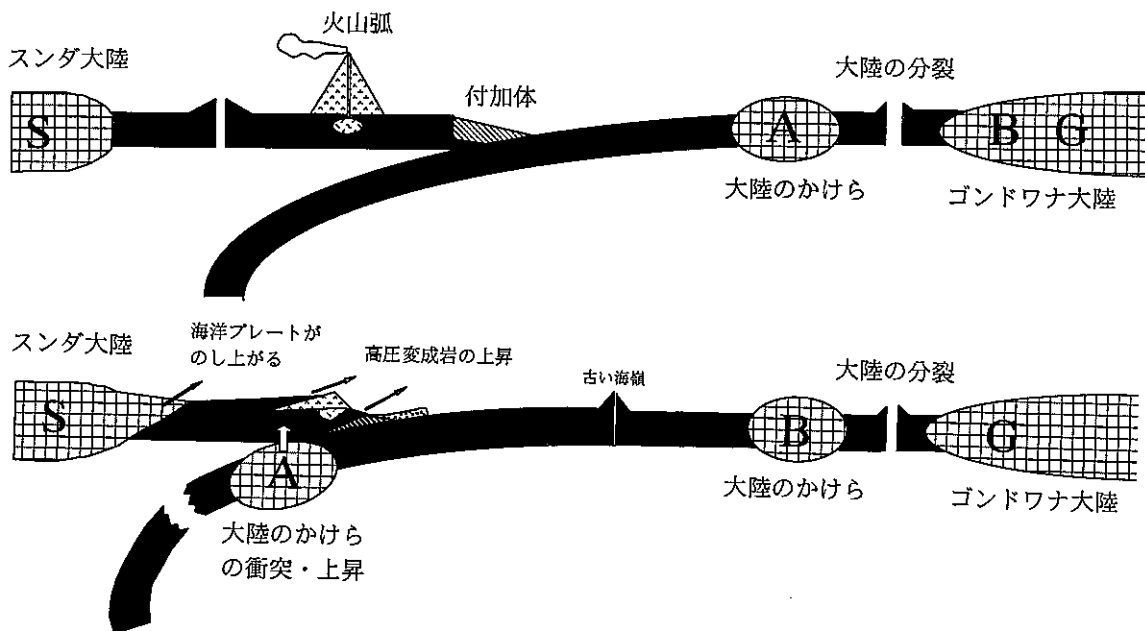
い大陸地殻を持つ大陸片は完全には沈み込まずに海溝付近に引っかかり、付加体に取り込まれただろう。第15図に示された大陸のかげらはそうして現在に至っている。

この“大陸のかげら”(微小大陸片)の上にジュラ紀の海成層が堆積した。付加過程で微小大陸から表面のジュラ紀の地層がはぎ取られ、付加体の中に巻き込まれたと考えている。この微小大陸は現在スラウェシ島および周辺の地下に隠れていると考えられる。海域の調査で大陸地殻と考えられているパテルノスターもその一部と考えられる。スラウェシ島の第三紀火山岩の包有物の分析からも地下に大陸地殻の古い岩石が存在するとみなされている。スラウェシ島東部の変成岩の一部はジュラ紀の地層に覆われているのでこれもその一部の可能性がある。

以上の想定したシナリオをもう一度まとめてみると、以下ようになる(第1, 18, 19図)。ジュラ紀の浅海性の地層を縁辺部に堆積させていた微小大陸片が Gondwana 超大陸から切り離されて北上し、白亜紀にインドネシア近傍の海溝にさしかかり沈み込もうとした。海洋プレートの沈み込みにしたがって、沈み込もうとするが軽い大陸性地殻を有する微小大陸片は海洋プレートの切り離しによって浮き上がり、付加体と大陸片の一部を起源とする変成岩を上昇させる。部分的に上昇した変成岩は隣接したチャートの堆積盆に流入していく。これら衝突・付加した岩石群が後の構造運動で繰り返し、現在みられるような形で露出したのであろう。

未来のテクトニクス

インドネシア特にスラウェシでの白亜紀の付加体は、日本の付加体と多くの点で似ていて、微妙に違っている。白亜紀のインドネシアでは、付加体形成時に大陸のかげら(微小大陸片)の衝突が関与している。しかし、これまで見てきたように、このことは白亜紀ばかりではなく、それ以降現在に至るまで、インドネシアの地質の特徴となっている。例えば、第三紀にバンガイースラ地塊やブントウカンベシ地塊がスラウェシ島の東側に衝突しているし、カリマンタンでは南シナ海の形成に伴ってルコニア地塊がスダ大陸に衝突している。そして現在も、ティモー



第19図 ジュラ紀(図上)と白亜紀(図下)の構造発達史。

ル島やイリアンジャヤでは、島弧に対してオーストラリア大陸プレートが衝突しながら沈み込み、高圧変成岩やそれを覆う地層を急激に持ち上げつつある。

世界の造山帯を眺めてみると、大きく3つのタイプに分けることができる(第20図)。第1は、日本列島周辺のように、海洋プレートが沈み込んで付加体を形成していく“日本型造山帯”。第2は、アルプスやヒマラヤなどにみられる、2つの巨大大陸が衝突して形成された“ヒマラヤ型造山帯”。この両者の中間にあるのが、大陸のかけらが付加・衝突する“インドネシア型造山帯”である。これら3つのタイプは異なる地域で観察される別種の造山帯ではなく、“日本型”に始まり、“インドネシア型”を経て、“ヒマラヤ型”へ移り変わる歴史的発展過程を示している(第21図)。海洋プレートの沈み込みで形成された日本型の付加体に、大陸のかけらが付加・衝突すれば“インドネシア型”になるし、“日本型”や“インドネシア型”を経て、最終的に大陸同士が衝突してしまえば、間にある付加体や大陸のかけらを押しつぶして、“ヒマラヤ型”の造山帯が出来上がる。

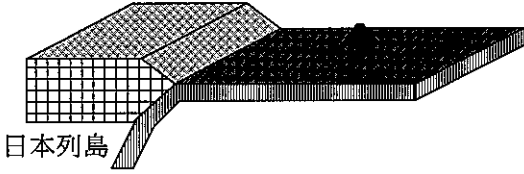
それは、インドネシアの島々を北へ押ししているオーストラリア大陸プレートが、日本へ向かっていく将来のルートをも想定すれば、分かりやすい。オースト

ラリアの大陸プレートはそのまま北上を続けると5,000万年ほどで日本に近づくと推定されている(伊藤, 1993; 丸山・磯崎, 1998)。オーストラリア大陸プレートは現在海洋プレートとともに北上しつつある。現在スダ海溝を北側に押ししているが、将来インドネシアの島々をフィリピンの火山弧とともに北へ押しやり、最終的に日本へ衝突し、さらにアジア大陸東部でインドネシア・フィリピン・日本のすべてをすりつぶし、未来の造山帯を作るはずである(第22図)。

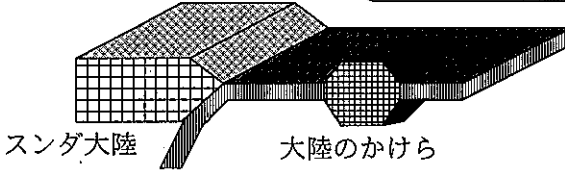
今世界の造山帯のほとんどは、大陸と大陸の衝突の結果できた縫合帯である。例えば、アルプスやヒマラヤ、アパラチアなど有名な造山帯は例外なく、大陸と大陸の衝突の後に形成されている。ここでは、双方の大陸に堆積していた地層や大陸と大陸の間に存在したであろう海洋プレートや島弧、大陸のかけらなどが、グチャグチャにすりつぶされて、変形している。変形していても観察できるものはい方で、多くの地層や岩石が地下に埋もれたり断層で変位したりして地表では見えなくなっている。

それに引き替えどうだろう。日本やインドネシアでは、現在も海洋プレートや島弧が様々に関わり合い、非常に活発に活動している。火山や付加体、島弧や大陸のかけらを生の姿で観察することがで

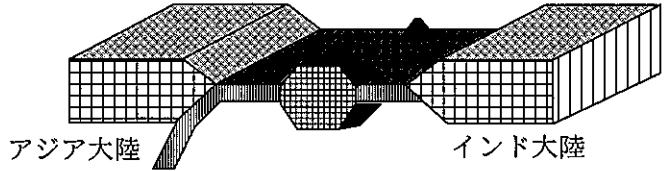
海洋プレート沈み込み型造山帯
(日本型)



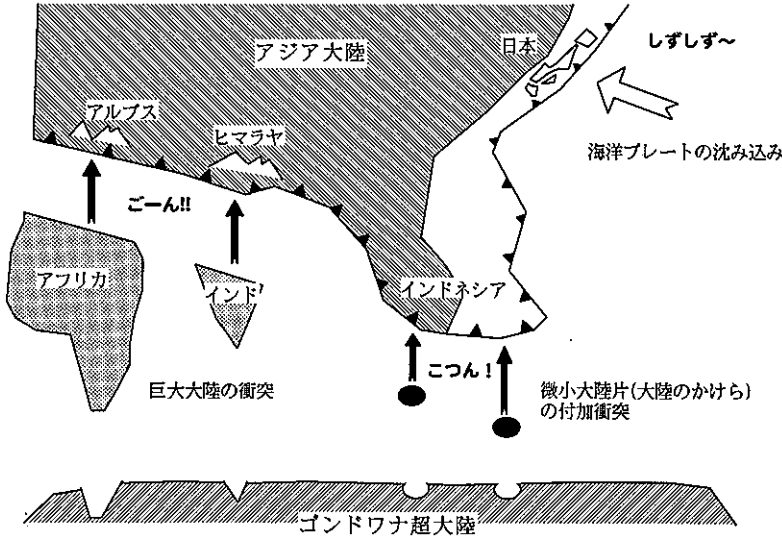
微小大陸付加・衝突型造山帯
(インドネシア型)



巨大大陸衝突型造山帯
(ヒマラヤ型)



第20図 造山帯の発展様式：日本型→インドネシア型→ヒマラヤ型。



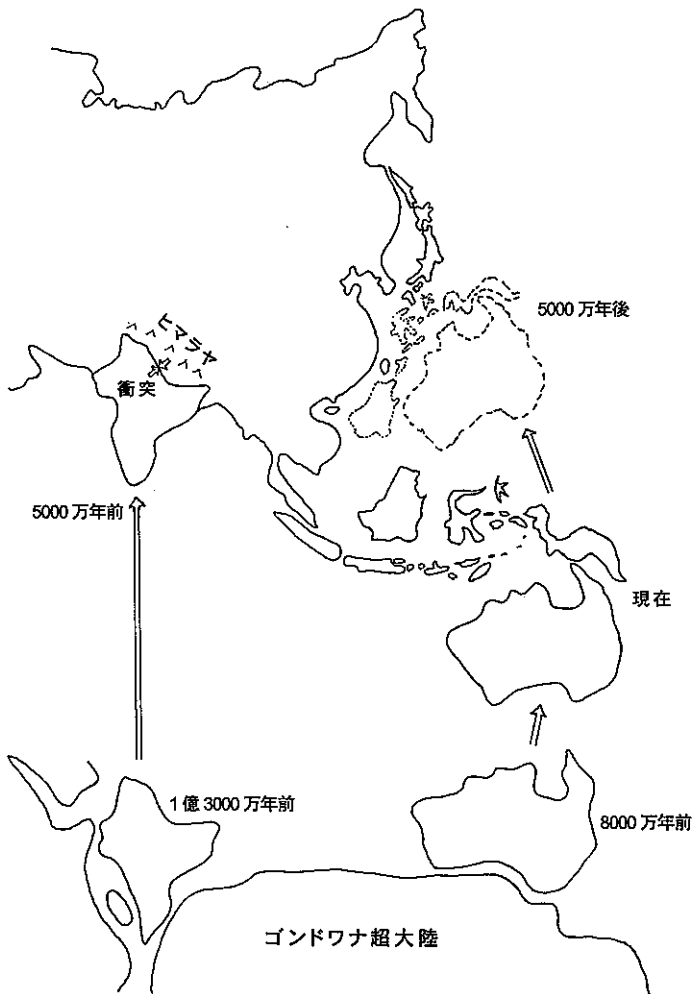
第21図
アルプス-ヒマラヤ、インドネシア、
日本における造山作用の違い。

きる。このように東・東南アジアの島々は、地質学者にとって尽きることのない楽しみを享受できる場所となっている。今後も世界の造山帯の模範になるデータや研究が沢山生まれる場所であってほしいと願っている。

日本のジュラ紀付加体とインドネシアの白亜紀付加体を研究することに、どのような楽しみがあるのかは、本文でお分かりいただけたでしょうか？ また、この二つの付加体の違いをどのようにお感じに

なられたでしょうか？

地球の上に海が出来て、そして大陸が少しずつ形成されてきた。大陸は成長する過程で、超大陸ゴンドワナとアジア大陸のように離合集散を繰り返してきた。大陸の分離と引き続いて起こる大陸の衝突は、地球の歴史の中でとても大切なイベントである。太ったユーラシア大陸もしばらくすると今度は痩せる立場になってゆく。南極もいまはすっかり寂しくなったけど、そのうちユーラシアが分裂



第22図 オーストラリア大陸とインド大陸の旅と未来。

して、また大陸のかけらが南極に向かって、やってくるだろう(第36図)。そんな地球の歩みを私たちの足下に広がる地層や岩石から感じて、それぞれの夢を広げてゆくことができる幸せを感じている。

エピローグ

インドネシアから日本までの島々とその周辺の海域の地質を詳しく調べることが、世界のすべての造山運動の研究の基礎になる。大陸同士が衝突して、すり潰した破片をいくら調べてもわからないことがある。アジアの東の端に散らばる宝石のような島々。私たちはこれを丁寧に調べて、その知識を未来に伝えていこうと思う。

インドネシアの国旗をご存知だろうか？ インドネ

シアの人々がメラ(赤)プティ(白)と呼んでいる紅白を上下に塗り分けた旗である。そう、日本と同じ紅白なのだ。「赤は博愛・活力を、白は神聖・純潔を意味している」なんて辞書に書いてあるが、いやしくも地質を学ぶものがそんなまやかしを信じてはいけない。「白は冷たい海洋プレートの沈み込みを、赤は引き続いて起こる火成作用や島弧の形成を意味している」に決まっている。いや、そう思ってみたい。小論では、インドネシアからフィリピンを経て日本までの島国の付加-衝突テクトニクスを紹介した。国旗を見る度そのことを思い出してほしい。

本シリーズは、1990年度から1998年度にわたる約10年間の調査研究の成果をまとめたものである。ジャワ島は主に1991-1994年度、スラウェシ島は1990-1993年度、南カリマンタンは1995年、西カリマンタンは1998年に調査を実施した。そのうち1990年度は科学技術庁振興調整費「アジア諸国とのリモートセンシング技術の高度化とその応用に関する共同研究」で、1991年度は私費渡航、1992-1995年度はITITプロジェクト「海洋プレート断片における鉱物資源探査技術の研究」として、1997年は科学技術振興調整費二国間型国際共同研究「島弧における

白亜紀の付加衝突テクトニクス」として(現地調査は政変と山火事で断念)、1998年はITITプロジェクト「アジア地域におけるマスマーブメントによる災害予測に関する研究」及び科学技術振興調整費二国間型国際共同研究「東・東南アジアのテレデータ解析技術の研究」としてそれぞれ調査を実施した。これらの調査を無事かつ効率的に実施することが出来たのは以下に述べる多くの人々の温かい支援があったからである。

私の生涯でインドネシアに最初に引き合わせてくれたのは父であった。父は第二次世界大戦中東南アジア各地を転戦し、インドネシアやマレーシアにも長く滞在した。そして私が小学生低学年の頃インドネシア語の数字(マレー語も同じ)を1-10まで数えられるように訓練してくれた。サツ・ドゥア・



スパーカ氏(右)インドネシア科学院副長官、筆者(左)。



ソパヘルワカン氏(左)、ウトモ氏(中央)、スマントリ氏(右)地質工学研究開発センター。



ムナスリ氏 地質工学研究開発センター。



スケンダール アシキン教授、バンドン工科大学。

第23図 インドネシアの調査でお世話になった人々。

ティガ・ウンパ・リマ・・・子供の頃の私の脳裏にこれらの言葉が刻まれていった。

そしてインドネシアの研究を行う直接のきっかけとなったのが、メランジュを研究したいと言って私の元にJICA個別研修員としてやってきたインドネシア青年Munasri氏である。親しみやすくかつ真面目な青年である彼を通じてインドネシアの地質にのめり込んでいったし、多くのインドネシア人と仲良くなっていった。Munasri氏はその後日本人の女性と結婚し1男1女をもうけた。そしてさらに筑波大学で博士号を取得し、現在はインドネシア地質工学研究開発センターで活躍している。

インドネシアでは多くの研究者にお世話になったが、特にMunasri氏の上司のSuparka博士(元地質工学研究開発センター所長、現インドネシア科学院副長官)やJan Sopaheluwakan博士(前地質工学研究開発センター所長、現インドネシア科学院地質官)をはじめ地質工学研究開発センターの多くの職員には大変世話になった(第23図)。バンドン工科大学のSukendar Askin教授、Emmy Suparka教授らには、さまざまな情報提供を受けた。カリマンタンの調査では、Priharujo Sanyoto氏(地質研究開発センター)に大変お世話になり、スラウエシの調査ではRab Sukampt氏(地質研究開発センター

元所長)から未公表資料の提供を受けて非常に研究が容易であった。さらにロンドン大学の構造地質学者A.J. Barber教授との交流も忘れられない。ロンドン大学には東南アジア地質研究グループという活発に活動している研究者集団があり、Barber博士はこのグループのリーダーであった。彼によって触発され、メランジュの研究を推進し、インドネシアでの研究を発展させることができた。彼のおかげで研究の成果を報告する機会を多く得た。そして現在もいろいろとお世話になっている。またニューイングランド大学のIan Metcalfe氏にはアジアのテクトニクスについて多くの意見をいただいた。これらの方々とともに、インドネシア地質工学研究開発センターとインドネシア地質研究開発センターの多くの友人や研究者にも謝意を表したい。

インドネシアでの研究で共同研究を行ってくれた元地質調査所(現産総研)の宮崎一博氏、中島隆氏、土田聡氏、二宮芳樹氏及び山口靖氏(元地質調査所、現名古屋大学)には、他の分野の研究交流として大いに触発されたことが多かった。同じく元地質調査所(現産総研)鹿野和彦氏や古宇田亮一氏にはインドネシアへ行く研究費を得るのに力になっていただいた。また、京都大学の西村進名誉教授にはインドネシアの地質や情勢について様々な御教示をいただいた。東京工業大学の丸山茂徳教授と金子慶之氏(現：産総研)には、ティモールからタニンバルにかけての地質やテクトニクスについてご教示いただいた。岐阜大学(当時名古屋大学)の小嶋智氏にはカラサンブンの研究でいろいろお世話になった。またBarber博士の学生でSTA & EU fellowとして地質調査所や東京工業大学に滞在したChris Parkinson(元STA & EU fellow)には、研究面で多くの示唆をいただいた。これらの方々にして謝意を述べたい。さらに、ここに書き切れないくらいの多くの人々に支えられてインドネシアの調査を遂行することができた。これからの機会があれば、さらに地質調査を実施し、少しでもこれらの方々への恩に報いたいものである。

最後に、私に一連の雑文を書くことを勧めて後押しをして下さった方々や掲載を許可して下さった地質ニュースの編集委員の方々に謝意を表するとともに、海外出張の際いつも「お土産を忘れないように!」と言って気持ちよく送り出してくれた家族の

みんなに心から感謝したい。

文 献

インドネシア白亜紀付加体地質紀行

- 脇田浩二(2002a): ああ!いとしのカラサンブン“インドネシア白亜紀付加体地質紀行-ジャワ島編”, 地質ニュース, no.567, 52-66.
 脇田浩二(2002b): スラウェシの怪人と異常な不整合“インドネシア白亜紀付加体地質紀行-スラウェシ島編”, 地質ニュース, no.573, 48-68.
 脇田浩二(2002c): 消えたダイヤの秘密“インドネシア白亜紀付加体地質紀行-南カリマンタン編” 地質ニュース, no.574, 53-67.
 脇田浩二(2002d): ただいま赤道痛蚊チューっ!“インドネシア白亜紀付加体地質紀行-西カリマンタン編”, 地質ニュース, no.576, 44-59.

主な参考図書

- Coordinating Committee for Coastal and Offshore Geoscience Programmes in East and Southeast Asia (2000): Geotectonic Map of East and Southeast Asia: Sheets 4,5,6-First Product of the CCOP-CPCEMR Geotectonic Map Project-, CCOP Technical Bulletin, 27, 16p. with CD-ROM.
 Craddock, C (1982): Antarctic Geoscience Madison Univ., 1172p., Wisconsin Press.
 Darman, H. and Sidi F. H. (2000): An Outline of THE GEOLOGY OF INDONESIA, Indonesian Association of Geologists, Ikatan Ahli Geologi Indonesia IAGI-2000.
 Geological Survey of Japan and Coordinating Committee for Coastal and Offshore Geoscience Programmes in East and Southeast Asia (1997): Digital Geologic Map of East and Southeast Asia, 1:2,000,000., DGM G-2, Geological Survey of Japan.
 Hall, R. and Blundell D.J. (1996): Tectonic Evolution of Southeast Asia, Geological Society of London, Special Publication, 106.
 Hall R. (2002): Cenozoic Geological and Plate Tectonic Evolution of Southeast Asia and Southwest Pacific: Computer-based reconstructions, Model and Animations, Journal of Asian Earth Sciences, vol.20,no.4, with CD-ROM.
 Hamilton, W. (1979): Tectonics of the Indonesian Region, United States Geological Survey Professional Paper 1078.
 Hutchison, C.S. (1989): Geological Evolution of South-East Asia, Oxford Science Publication 368p.
 Metcalfe, I. Ed (1999): Gondwana Dispersion and Asian Accretion, IGCP321 Final Result Volume, A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield.
 Smith, A.G., Smith, D.G. and Funnel, B.M. (1994): Atlas of Mesozoic and Cenozoic Coastlines, Cambridge University Press, 109p.
 伊藤 笙 (1993): 日本の誕生そして消滅. 最新・地球学, 朝日新聞社.
 高橋祐平 (1989): ゴンドワナと南極, 大原 隆・西田 孝・木下肇 編集, 地球の探求, 朝倉書店, 198-196.
 坂野昇平・榎並正樹 (2002): 超高压変成岩-地球深部との往復書簡 (1), 地質ニュース, no.569, 6-13.
 丸山茂徳 (1993): 46億年 地球は何をしてきたか?, 地球を丸ごと考える2, 岩波書店.
 丸山茂徳・磯崎行雄 (1998): 生命と地球の歴史, 岩波新書.
 丸山茂徳・酒井英男 (1986): 複合大陸塊-アジアのテクトニクス. 北海道の地質と構造運動, 地研専報, 31, 487-518.
 脇田浩二 (2000): 美濃帯のメランジュ, 地質学論集, 55号, 145-163.

インドネシアやアジアの地質とテクトニクス

- Abbott, L.D. (1995) : Neogene tectonic reconstruction of the Adelbert-Finisterre-New Britain collision, northern Papua New Guinea, *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 11, 1, 33-51.
- Ali, J.R., Milsom, J., Finch, E. M. and Mubroto, B. (1996) : SE Sundaland accretion : palaeomagnetic evidence of large Plio-Pleistocene Tin-skin rotations in Buton, In : Hall, R. and Blundell, D. J. eds. *Tectonic Evolution of Southeast Asia*, Geological Society Special of London, Publication, 106, 431-443.
- Audley-Charles, M.G. (1988) : Evolution of the southern margin of Tethys (North Australian region) from early Permian to Late Cretaceous. In : Audley-Charles, M.G. and Hallam, A.S. Eds. *Gondwana and Tethys*, the Geological Society, Oxford University Press, 79-100.
- Barber, A.J. (1981) : Structural interpretations of the island of Timor, eastern Indonesia, In: Barber, A.J. and Wiryo Sujono.S. eds. *The Geology and Tectonics of Eastern Indonesia*, GRDC Special Publication, 2, 183-198.
- Barber, A.J., Tjokrosapoetro, S. and Charlton, T.R. (1986) : Mud volcanoes, shale diapirs, wrench faults, and mlanges in accretionary complexes, Eastern Indonesia, *Ammer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 70, 1729-1741.
- Bergman, S.C., Coffield, D.Q., Talbot, J.P. and Garrard, R.A. (1996) : The Tertiary tectonic and magmatic evolution of western Sulawesi: and the Makassar Strait, Indonesia: evidence for a Miocene continent-continent collision, In: Hall, R. Blundell, D. (Eds.) *Tectonic evolution of Southeast Asia*. Special Publication, 106, Geological Society of London, 391-444.
- Bird, P.R. and Cook, S.E. (1991) : Permo-Triassic successions of the Kekenno area West Timor : implications for palaeogeography and basin evolution, *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 6, 3/4, 359-371.
- Charlton, T.R. and Suharsono (1990) : Mesozoic-Tertiary stratigraphy of the Kolbano area, southern west Timor, *Bull. Geol. Res. Dev. Center*, 14, 35-58.
- Earle, M. (1981) : The metamorphic rocks of Boi, Timor, Eastern Indonesia, *The Geology and tectonics of Eastern Indonesia*, Geological Research and Development Centre, Spec. Pub. No.2, 239-251.
- Genrich, J.F., Bock, Y., MacCaffrey, R., Calais, E., Stevens, C.W. and Subarya C. (1996) : Accretion of the southern Banda arc to the Australian plate margin determined by Global Positioning System measurements, *Tectonics*, 15, 288-295.
- Hall, R. (1996) : Reconstructing Cenozoic SE Asia, In : Hall, R. and Blundell, D. eds., *Tectonic Evolution of Southeast Asia*, Geological Society of London, Special Publication, 106, 153-184.
- Hill, K.C. (1991) : Structure of the Papuan Fold Belt, Papua New Guinea, *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 75, 5, 857-872.
- Kaneko, Y., Maruyama, S., Kadarusman, A., Ota, T., Ishikawa, M., Tsujimori, T., Ishikawa, A. and Okamoto, K. (in press) On-going orogeny in the outer-arc of the Timor-Tanimbar region, eastern Indonesia, *Tectonophysics*.
- Katili, J.A. and Hartono, H.M.S. (1983) : Complications of Cenozoic tectonic development in eastern Indonesia. *Geodynamics of the western Pacific Region*, *Geodynamic series*, 11, 387-399.
- Lee, T-Y. and Lawer, L.A. (1995) : Cenozoic plate reconstruction of Southeast Asia, *Tectonophysics*, 251 85-138.
- Li, Z.X. and Powel, C.McA. (1993) : Late Proterozoic to early Paleozoic paleomagnetism and the formation of Gondwanaland, In: Findley, R.H. *et al.* Eds., *Gondwana Eight, Assembly, evolution and dispersal*, 9-21 A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield.
- 松岡 篤, Zamoras, L.R. (2001) : フィリピン北パラワン地塊のジュラ紀付加体-日本のジュラ紀他帯の南西延長-, *古生物学トピックス*, No.2, 31-38.
- Metcalfe, I. (1988) : Origin and assembly of south-east Asian continental terranes, In : Audley-Charles, M.G. and Hallam, A.S. Eds. *Gondwana and Tethys*, the Geological Society, Oxford University Press, 101-118.
- Metcalfe, I. (1990) : Allochthonous terrane process in Southeast Asia, *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A*. 331 625-640.
- Metcalfe, I. (1991) : Late Palaeozoic and Mesozoic palaeogeography of Southeast Asia, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Plaeoecology*, 87, 211-221.
- Metcalfe, I. (1996) : Pre-Cretaceous evolution of SE Asian terranes, In : Hall, R. and Blundell, D. eds., *Tectonic Evolution of Southeast Asia*, Geological Society, Special Publication, 106, 97-122.
- Metcalfe, I. (1998) : Paleozoic and Mesozoic geological evolution of the Southeast Asian region : Multidisciplinary constraints and implications for biogeography, In : Hall, R., Holloway, J.D. and Rpsen B.R. eds. *Biogeography and Geological Evolution of SE Asia*, Amsterdam: SPB Publishing, 25-41.
- Metcalfe, I. (1999) : Gondwana dispersion and Asian accretion: An overview, In: Metcalfe, I. Ed. (1999) *Gondwana Dispersion and Asian Accretion*, IGCP321 Final Result Volume, A.A. Balkema / Rotterdam/Brookfield.
- Moore, G.F. and Karig, D.E. (1980) : Structural Geology of Nias Island, Indonesia: Implications for subduction zone Tectonics, *American Journal of Science*, 280, 193-223.
- Nishimura, S. and Suparka, S. (1990) : Paleogeographic Reconstruction of the Indonesia Regio, In: Tsuchi, R. ed. *Pacific Neogene Events*, University of Tokyo Press, 115-121.
- Pigram, C.J. and Symonds, P.A. (1991) : A review of the timing of the major tectonic events in the New Guinea Orogen, *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 6, 3/4, 307-318.
- Pubellier, M., Girardeau, J. and Tjashuri, I. (1999) : Accretion history of Borneo inferred from the polyphase structural features in the Meratus Mountains, In : Metcalfe *et al.* Eds. *Gondwana Dispersion and Asian Accretion*, IGCP 321 Final Results Volume, 141-160., AA.Balkema/Rotterdam.Brookfield.
- Richardson, A.N. and Blundell, D.J. (1996) : Continental collision in the Banda Arc, In : Hall, R. and Blundell, D. eds., *Tectonic Evolution of Southeast Asia*, Geological Society of London, Special Publication, 106, 47-60.
- Richer, B. and Fuller, M. (1996) : Paleomagnetism of he Sibumasu and Indochina blocks: implications for the extrusion tectonic model. In Hall, R. and Blundell, D. eds., *Tectonic Evolution of Southeast Asia*, Geological Society of London, Special Publication, 106, 203-224.
- 指田勝男 (2001) : 東南アジアのタイ国およびインドネシア国チモール島における中・古生代放射虫化石研究の現状, *古生物学トピックス*, No.2, 25-30.
- Sengor, A.M.C. (1989) : The Thethyside Orogenic System: An Introduction, In: Sengor, A.M.C. ed. *Tectonic Evolution of the*

- Tethyan Region, 1-22, Kluwer Academic Publishers.
- Simandjuntak, T.O. and Barber, A.J. (1996) : Contraction tectonic styles in the Neogene orogenic belts of Indonesia. In : Hall, R. and Blundell, D.eds., Tectonic Evolution of Southeast Asia, Geological Society of London, Special Publication, 106, 185-201.
- Simandjuntak, T.O. and Barber, A.J. (1996) : Contrasting tectonic styles in the Neogene orogenic belts of Indonesia. In : Hall, R. Blundell, D.eds. Tectonic evolution of Southeast Asia. Geological Society of London, Special Publication, 106, 185-201.
- Sopaheluwakan, J. (1990) : Ophiolite obduction in the Mutis complex, Timor, Eastern Indonesia, an example of Inverted, Isobaric, Medium-High Pressure Metamorphism, VU University Press, Amsterdam, 226p.
- Sukanto, R. and Westermann, G.E.G. (1992) : Indonesia and Papua New Guinea, 180-193. In ; Westermann, G.E.G. ed. The Jurassic of the Circum-Pacific, World and Regional Geology 3, Cambridge University Press.
- Tapponier, P., Peltzer, G., Le Dain, A.Y. and Amijo, R. (1982) : Propagating extrusion tectonics in Asia, New insights from simple experiments with plasticine, Geology, 10, 611-616.
- Wenink, H. and Hartosukohardjo, S. (1990) : The paleomagnetism of Late Permian-Early Triassic and Late Triassic deposits on Timor : an Australian origin? Geophysical Journal International, 101, 315-328.
- Williams, P.R., Johnston, C.R., Almond, R.A. and Simamora, W.H. (1988) : Late Cretaceous to Early Tertiary structural elements of West Kalimantan, Tectonophysics, 148, 279-297.
- Wilson, M.E. and Bosence, D.W.J. (1996) : The Tertiary evolution of South Sulawesi: a record in redeposited carbonates of the Tonasa Limestone Formation. In : Hall, R. Blundell, D. Eds. Tectonic evolution of Southeast Asia. Geological Society of London, Special Publication, 106, 365-390.
- 我々の研究グループの成果**
- Miyazaki, K., Zulkarnain, I., Sopaheluwakan, J. and Wakita, K. (1996) : Pressure-temperature conditions and retrograde paths of eclogites, garnet-glaucophane rocks and schists from South Sulawesi, Indonesia, Journal of Metamorphic Geology, 14, 594-663.
- Miyazaki, K., Sopaheluwakan, J., Zulkarnain, I. and Wakita, K. (1998) : Jadeite-quartz-glaucophane rock from Karangsambung, Central Java, Indonesia and its tectonic implications, The Island Arc, 7, 223-230.
- Munasri (1995) : Cretaceous radiolarian biostratigraphy in the Bantimala and Barru areas, South Sulawesi, Indonesia, Master's Thesis of the University of Tsukuba.
- Parkinson, C.D. (1996) : The origin and significance of metamorphosed tectonic blocks in mélanges : evidence from Sulawesi, Indonesia, Terra Nova, 8, 312-323.
- Parkinson, C.D., Miyazaki, K., Wakita, K. and Barber, A.J. (1996) : Petrology and geodynamic implications of very high and (probable) ultrahigh-pressure eclogites from Java and Sulawesi, Indonesia. EOS, Transactions of the American Geophysical Union Annual Meeting Abstract.
- Parkinson, C.D., Miyazaki, K., Wakita, K., Barber, A.J. and Carswell, D.A. (1998) : An Overview and tectonic synthesis of the very high pressure and associated rocks of Sulawesi, Java and Kalimantan, Indonesia, The Island Arc, 7, 184-200.
- Parkinson, C. (1998) : An outline of the petrology, structure and age of the Pompangeo Schist Complex of central Sulawesi, Indonesia, The Island Arc, 7, 231-245.
- Wakita, K., Munasri and Bambang, W. (1991) : Nature and age of sedimentary rocks of the Luk-Ulo mlange complex in the Karangsambung area, central Java, Indonesia. Proceedings of the Symposium on the Dynamics of subduction and its products, The Silver Jubilee, Indonesian Institute of Science (LIPI), 64-79.
- Wakita, K., Munasri and Bambang, W. (1993) : Cretaceous radiolarians from the Luk-Ulo Melange Complex in the Karangsambung area, central Java, Indonesia, Journal of Southeast Asian Earth Sciences, 9, 29-43.
- Wakita, K., Munasri, Sopaheluwakan, J., Zulkarnain, I. and Miyazaki, K. (1994) : Early Cretaceous tectonic events implies in the time-lag between the age of radiolarian chert and its metamorphic basement in Bantimala area, South Sulawesi, Indonesia. The Island Arc, 3, 90-102.
- Wakita, K., Sopaheluwakan, J., Zulkarnain, I., Miyazaki, K. and Munasri (1996) : Tectonic Evolution of the Bantimala Complex, South Sulawesi, Indonesia, In : Hall, R. Blundell, D. Eds. Tectonic evolution of Southeast Asia. Geological Society of London, Special Publication, 106, 353-364.
- Wakita, K., Miyazaki, K., Sopaheluwakan, J., Zulkarnain, I., Parkinson, C. and Munasri (1997) : Cretaceous subduction complexes along the southeastern margin of Sundaland, Memoir of Geological Society of Japan, 48, 152-162.
- Wakita, K., Miyazaki, K., Zulkarnain, I., Sopaheluwakan, J. and Sanyoto, P. (1998) : Tectonic implications of new age data for the Meratus Complex of south Kalimantan, Indonesia, The Island Arc, 7, 202-222.
- 脇田浩二 (1998) : インドネシアの白亜紀付加衝突テクトニクス, 地学雑誌, 107, 914-917.
- Wakita, K. (2000) : Cretaceous accretionary-collision complexes in central Indonesia, Journal of Asian Earth Sciences, 18, 739-749.

WAKITA Koji (2002) : Collision and Accretion Tectonics in Indonesia - A Geological Trip fo Cretaceous accretionary complex in , Indonesia.

< 受付 : 2002年4月25日 >