海進・海退と海面変化

松 本 達 郎*

Transgression-Regression and Eustasy

Tatsuro MATSUMOTO

Abstract

The relationship of transgression-regression with eustasy is examined in this paper on examples of the stable areas in the Cretaceous period. The factual data can be summarized in a diagram (Fig. 1). The scale of major transgression seems to have been enlarged from the Neocomian, through the Aptian-Albian, to the Late Cretaceous ones and the post-Cretaceous (i.e. Palaeocene) regression was of a global scale.

Minor cycles of transgression-regression were not necessarily synchronous between separated areas. Some of them were, however, synchronous or nearly so especially between the areas facing the same oceanic basin.

Eustasy alone was not the cause of the phenomena of transgressions and regressions. Certain kinds of tectonic movements which affected even the stable areas were also responsible for the phenomena. The combined effects of both causes may have been remarkable in the Cretaceous examples.

It is tentatively suggested that the sea-level gradually uprised during the Cretaceous period by the combined effects of active upheaval of oceanic rises, volcanic effusion, appearance and development of orogenic mountains from geosynclinal belts, increasing sedimentary deposition due to intense erosion of uprising mountains, etc. In short, global activity may have been responsible for the Cretaceous major transgressions. The pause of this activity, followed by isostatic adjustment in certain parts of continents and that of oceanic areas may have been the cause for the Palaeocene global regression.

I. 序 論

海進・海退は層序学における基本的な概念の1つであり、この概念の導入により、雑多に見える各地各様の層序学的記録が、整然とまとまり、また異地区間の対比にも役立つということで、活用され、ひろめられて来た。

ところで、海進・海退は、地質時代における、陸地に対しての相対的の海水面の高さの変化により起こる現象である。用語の語源的意義は、あたかも陸地は不動で、海水面の方が上がったたり下がったりして、海進・海退が起こるかの如き意味に、原語でも和訳でもなっている。仮に海水面が不動で、堆積盆地の沈降量に変化したり、上昇したりしても、同様の現象が起こるわけである。つまり地域的あるいは局部的の構造運動によっても、“見掛けの海進・海退”は起こるわけである。

* 九州大学理学部地質学教室 気付 c/o Dept. of Geology, Kyushu University

しかしながら、層序的の記録を集約して、地史をまとめてみると、汎世界的な規模の大海進・大海退があった時期があることや、海進・海退の周期が、かなり規則正しく認められることも事実であって、これを説明するのに“見掛け”でない真の海面変化 (eustatic sea-level change) を有力な原因と考える解釈が出てくる。

第四紀の実例のように、気候変化による大氷河の溶解と形成が直接原因で、海水の絶対量が増減した場合には、ユースタチックな海面変化があったことは明確であろう。こうした特殊な原因は別として、一般の地史において、ユースタチックな海面変化があったかどうか、またその原因は何であったかは、地球史上の興味ある課題である。

これを究明する方法はいろいろあるかと思うが、ここには、おもに層序学的方法で攻究を試みる。

大規模な海進・海退の例は地質時代の各紀にあるが、白亜紀ならびにその直後ののは、典型的な例の1つである。この時期に関しては海底の資料もある。自分の研究歴からいっても、白亜系の層序は具体的に扱うのに好適である。従ってここには白亜紀の事例を中心に検討する。但し従来もこの問題をとりあげたことがある (松本, 1967; MATSUMOTO, 1977b) ので、それを引き継ぎながら、新しい考察を加えることにする。今回は、以前には資料が不足のため考察が粗雑であった部分を、最近の知識により再検討することにも留意した。

大規模な海進・海退の記録は、いわゆる安定大陸 (楕状地～卓状地) における地層の分布、基底部との関係、垂直ならびに水平的の堆積相の変化、含有化石で代表される古生物群の変化などから、最もよく読みとられるので、まずこれに重点を置き、相離れた安定大陸地域間の記録の対比を通じて、汎世界的規模の現象を読み取ろうという企てである。そして、これと、もう1つの安定地域たる大洋底の記録との対比をも試みたい。

ここで注意すべきは、安定大陸という用語であるが、これは造山帯あるいは変動帯に比較すると構造的に安定だったということであって、絶対的に安定 (すなわち不動の大地) を必ずしも意味しない。従って海面変化との関係を読み取るには、変動帯よりは適しているが、なおそれ自身ある種の地殻変動を受けていたかもしれないことである。この点を考慮に入れながら、具体的な検討を行ないたい。

結章では、具体的な検討をへた資料をもとに、さらに他の事象との関連にも考慮を払って、総括的な論議を試みる。もちろんこれは試論であって、今後の研究発展のためのたたき台となれば幸と見え、大方の御教示・御高評を仰ぎたく、お願いする次第である。

II. 各地資料の検討

以前に各地の資料を検討した (松本, 1967) ので、それとの重複はなるべく避けて、最新の文献を加えた検討結果の要約を記す。

1. 北米内陸地域

この地域の白亜紀は世界の中でも最もよく研究されているといえる。CALDWELL (ed.) (1975) の論文集には、最近の知見が盛られているし、1977年の North American Paleontological Convention の巡検案内書 (KAUFFMAN ed., 1977) にも端的に特徴が記されているとともに、最近の詳細な化石帯層序とそれによる対比、ならびに同位体年代との対応 (OBRADOVICH & COBBAN, 1975等に負う) が示されている。海進の広がった時期には、メキシコ湾岸から北極海まで、南北に浅海域が及ぶが、これはコルジレラ変動帯にほぼ平行であり、かつコルジレラの上昇山地から供給された碎屑性堆積物が西寄りの地帯に著しく、かつ厚く、東方楕状地に近づくとも薄く、細粒である。すなわち変動帯の動きに規制されたことが明らかである。また等厚図 (isopach) を全域的にまとめたものは COOK & BALLY (1975) の図集のほか、REESIDE (1944) がかつてまとめ、今でも信頼されている図や、セノニアンに相当するモンタナ層群だけではあるが、詳細な資料に基づく GILL & COBBAN (1973) の研究成果から知られるように、同

じく西部地帯の中でも、各階を通じて地層の厚く堆積した地域とそうでない地域とが識別され、合衆国の範囲で厚い所が2区域約1000km 距たって認められる。これは堆積の荷重によるアイソスタシー的な沈降なのか、構造的な意味を持つのかは、必ずしも究められていない。

基盤の沈降についての上記のような不均一はあるが、層序と相の縦・横の変化は詳細に究められ、その結果として、堆積サイクルならびに海進・海退の記録が読み取られている。全般的にいて、下部白亜紀のアルビアンから始まって、上部白亜紀にわたり海域は広く、この大きいサイクルの終末は古第三紀暁新世にまで達する。この大サイクルの中に少なくとも6つの海進・海退のサイクルが、先述の堆積相の縦横の変化などから認定されている。KAUFFMAN(1973, 1977)によると、6つのサイクルの中で4つが海進の広い期間(約40m.y.)のもので、それぞれの海進最大期〔氾濫期〕は、(1) アルビアン中期、(2) セノマニアン末期～チューロニアン初期、(3) コニアシアン末期～サントニアン初期、(4) カンパニアン中期であるという。この場合に言われているような詳細な時期については、西欧のいわゆる標準層序との国際対比の問題がつかまとうわけで、吟味を要するが、KAUFFMAN 自身は、これらの海進期は世界的に認められ、従ってこの場合の海進・海退は主としてユースタチックな海面変化によると予察している。彼の1973, 77の言明はともに結論だけの略述だが、第1図中には、それを参考にしながらも、私自身が米国の諸研究資料に基づいて導いた周期(松本, 1967のと大差なし)を図示する。

先に指摘したように、北米内陸地域の白亜紀の海域が、コルジレラと平行した内陸側の非対称形の堆積地帯であることを考えると、この地域の堆積サイクルが、コルジレラにおける変動と全然無関係で、ユースタチックの海面変化だけによるとするのは理解しにくい。例えば、EVERDEN & KISTLER (1970) は、もっと大きい時間尺度においては、コルジレラにおける中生代花崗岩底盤の貫入の周期と内側の陸棚における海進・海退の大きい周期との対応を指摘している。但し、もしも造構造運動がユースタチックの海面変化の原因で両者が同時なら、両論とも正しいことになるが、これは話がうますぎる。

同じく北米内陸地域のカナダの部分については、JELETZKY (1977, 78) が詳細に吟味したように、上部白亜系が1つの大きい海進・海退のサイクルを代表する点は合衆国と同様だが、その中の詳細なサイクルは同一でない。また同じカナダ内でも、南半の地帯(すなわちコルジレラ中のColumbian 造山帯の内側)と、アラスカ寄りの地区とでは、詳細なサイクルの数でも、海進最大期の時期においても、相互は必ずしも一致しない。わずかのずれと受けとられる場合もあるが、時には正反対のこともある。JELETZKY は、海進・海退の現象は、海水面の汎世界的変化よりも地区ごとの構造的影響の方が強く表われたものと強調している。なお私が以前にも注意したが、カナダのアラスカ寄りの地区では、北方区(Boreal) フォーナを伴うネオコミアンの海進が著しく、ベリアシアンとパレミアンに氾濫期をもつ少なくとも2回(そして途中でもう1回)の周期が認められている。

2. 北米湾岸・大西洋岸地域

この地域に関しては、松本(1967)の要約に大きい変更がない。大陸棚地域の海底下の最近の資料を加えるべきだが、私には情報が入らない。海進を知る為には陸寄りの資料の方が決め手になると思う。海進・海退の地史は概観的には西欧と似るが、くわしい時期は1亜期程度のずれがある。

3. ヨーロッパ北西部

英・仏・独などの諸国を含む、白亜系のいわゆる標準地域であるから、研究は詳しく行なわれている。しかし、IUGS の白亜系層位学委員会で取り上げられているように、各階の定義の再吟味が最近行なわれており、また堆積盆地の認定や古地理区分の仕方が、北海における最近の海底調査(WOODLAND, ed., 1975)により、従来と変わってきたといった事情がある。

この地域の北東にはバルト楯状地があるが、大部分はカレドニア・パリスの古生代造山帯が中生界の基盤を構成しており、南側にはアルプス造山帯があるから、安定度は1に比べて弱い。いくつかの堆積盆地が識別され、その間に時により半島・島・小陸塊として現われた構造的上昇地(structural highs) が配列

している。おもな堆積盆地〔B.〕は、南西から北東に約800(±100)km 間隔で、Wessex-Paris B., Anglo-Dutch B., Danish-Polish トラフがあり、後2者間のやや平坦部の中にさらに小さい North Sea Central Graben, Münster B., Lower Saxony B. が、認められるといった工合である。これらの堆積盆地ごとに、海進・海退の記録はどうなっているのか、それらは相互に対比され同時なのか、周期のずれや正逆反対はないのかといった点がヨーロッパ北西部の中で検討できるわけで、彼の地の専門家たちによる研究成果を期待する次第である。

大綱として、ネオコミアン、アプチアン～アルビアン、上部白亜系の3つの大きいサイクルが、階段状に海域を広げながら認められ、とくにチョークの堆積で代表される上部白亜紀の海進は広大でかつ長期間にわたって続いたという事実は明らかに認められる。この大サイクルの終末は暁新世にまで及ぶわけで、Danish-Polish トラフにおけるダニアン～のチョークがそれを記録している。

大きいサイクルの中のいくつかのサイクルの識別、それぞれの海進の極大あるいは海退期の認定は必ずしもたやすくはない。最近チョークの中の層序と堆積学的研究が進み(例 HANCOCK, 1975)、古生物相その他の資料も総合的にとり入れて、いくつかの周期が認められるにいった。第1図には HANCOCK (1975) の結論を引用して示した。彼によると、この周期は北米内陸地域の KAUFFMAN 認定のそれとよく呼応するという。くわしく吟味すると、最大氾濫期がカンパニアン中期よりはむしろ後期にあること、サントニアン・コニアシア境ころよりむしろサントニアン中頃にもう1つの氾濫期があることなどは、本当のずれなのか、対比の当否かなお疑問がある。セノマニアン末期(*Sciponoceras gracile* 帯の時期)の広い海進が確実ならばこれは1, 3間でよい一致を示す。

他方ネオコミアンが Wessex-Paris 盆地では Wealden の海退相で代表されているのに対し、北西側の堆積盆地では北方型フォーナを伴う海成層(Speeton Clay で代表)が発達するといった正逆反するかの如く見える事実もある。但し、河成～湖成層を主体とする Wealden はパリ盆地の半淡水相をへてフランス南東部の海成ネオコミアンに移化し、後者中の4回のサイクルに相当するサイクロテムが Wealden 中に認められていることは前回も述べた(松本, 1967を見よ)。

4. ヨーロッパ北東部

ロシア卓状地の安定大陸は、北西にバルト楯状地、南にアルプス変動帯の延長があり、東にウラルの古生代変動帯があつて、1と地質構造的状況はよく類似する。資料としては、NAIDIN (1959, 60, 69)と VERESHCHAGIN & RONOV (ed.) (1968) のように、よく要約されたものがある。それらによると、松本(1967)にも記したように、この地域の中には、ソ連の学者が syncline と呼んでいる堆積盆地がいくつか識別され、その間に antecline (又は uplift) と呼ばれる structural highs が識別され、それぞれ500～1000km の間隔で配列すること、盆地はカルパチア～コーカサス変動帯に近いもの程沈降量(堆積物の厚さ)が大きいことが特性である。相や厚さの変化、層序関係などから、古地理の変化や海進・海退の地史がよく究められているが、それによると、大きいサイクルとしては、ジュラ紀末期のボルギアン(Volgian)に引き続くネオコミアンの海進と、アルビアン後期から始まり、上部白亜紀全般にわたり、ダニアンにまで及ぶ海進大サイクルがある。地域2, 3で認められたようなアプチアン～アルビアンの海進サイクルはなく、パレミアン・アプチアンは海退期となっている。

細かいオーダーでは、先述の堆積盆地ごとに記録はさまざまである。周期的な海進氾濫期として共通に認定(但し例えばモスコ盆地のように地層の欠如が多い地区では、部分的にだけ認定)されているものは、上部白亜紀の場合、(1)セノマニアン(どちらかというとその前期)、(2)チューロニアン後期～コニアシアン初期(コニアシアン・サントニアン境頃の層序間隙は諸地区間に共通的に認められる)、(3)サントニアン(但し地変があり、古地理の状態が変わり、地区によってはカンパニアンが海進的に古い岩石にのる所もある)、(4)マストリヒチアン前期、(5)ダニアン(全般としては海退しているが、南部の堆積地域に認められる)。これらの大部分は、米国の内陸地域や北西欧のものと一致しない。(2)は米国では海退期で

あり、ロシアの(2)(3)間の海退期は米国では海進氾濫期という工合に正負反対の場合さえある。

5. 西シベリアと中央アジア

4とはウラル山地を距ててシベリア西部の広大な平坦地がある。その南には中央アジアの平坦地があり、その中に3つの synclises が含まれる。これらの地域における海進・海退史は BEZNOSOV et al. (*In MOULLADE & NAIRN*, 1978) に要約されている。それによると、西シベリア盆地はジュラ紀以来形成され、海進はカロビアン以降にはじまり、北方区のフォーナで特色づけられる。周辺部には非海成層があるが、海退期にはこれが盆地内にも広がる。白亜紀の海進の周期は、(1)ベリアシアン～バランギニアン初期、(2)オーテリビアン、(3)アルビアン前期～中期、(4)チューロニアン、(5)サントニアン後期～カンパニアン(最も広く、ロシアや中央アジアの浅海域とも連なった)。概して上部白亜紀の方が海が広がっているが、白亜紀末には縮少し、ダニアンは海退期とされている。

中央アジアは地区により詳細は異なるが、南縁の Kopet-Dag 地帯には白亜系が完全な層序を示すという。下部白亜系の下半は石灰岩、上半(アプチアン以上)は碎屑岩がおもである。上部白亜系は下半(セノマニアン～下部チューロニアン)が碎屑岩勝ち、上半(上部チューロニアン～ダニアン)は石灰質堆積物が多いが、東方では陸源堆積物に移化する。海進の最大は VERESHCHAGEN & RONOV (ed.) (1968) の古地理図によると、カパニアン～マストリヒチアンにあるようであるが、小周期の詳細は私にはよくわからない。

6. 西南アジア(中東)

地質学的には南半球の Gondwana 超大陸がテチス海に面する重要な部分である。便宜上アラビア亜大陸といっておく。この地域の白亜系は油田構成の重要な地層であって、最近では諸企業で、地下・海底下をも含めて調査がさかに行なわれ、資料は豊富であるに相違ないが、公開されたものが少なく、総括的知識を得るのに困難を感じていた。1960年代後期に U.S.G.S. Prof. Paper に *Geology of the Arabian Peninsula* の大題目の下に集約された報文集、時折 A.A.P.G. などに出る論文が入手できる文献資料だったが、最近出版されだしたこの地域関係の *Lexique Stratigraphique Intern.* の号(例えば SUGDEN & STRADRING, 1975) と SAINT-MARC (*In MOULLADE & NAIRN*, ed., 1978) によるこの地域の中生界の総括的記述は有益である。しかしこれらといえども化石による対比の詳細は必ずしも記されていないため、亜階程度の単位での地史の吟味には不十分である。もっともイスラエルとその近接地だけは、欧米並みの正確さで詳細が公表されている。1977年来日した LEWY 博士が投稿済論文の内容を教えてくださいましたのにはとくに感謝する。

アラビア亜大陸は先カンブリア界の基盤をもち、それは南西部に露出している。北東側には、中生代当時テチス海があったが、北西部(シナイ・イスラエル・レバノン等)と北東部の大部分は、浅海が海進・海退する広い陸棚であった。テチス海の大洋といえる構成の部分が白亜紀当時どの程度に狭くなっていったかの詳細は明らかでないが、現在の形としては、北東側にザグロス・オマーンなどの山系で代表される変動帯がある。そちらに向ってより沖合又はより深い相の地層がより厚く発達する傾向がある。この詳細は各階・各地区で異なる。広大なアラビア卓状地は白亜紀当時も全くの平坦地ではなく、中央アラビアのアーチと呼ぶ緩慢な上昇あるいは沈降量の少ない地区を境に北西部(レバノン～シナイ)と北東部(イラク・クウェート)の堆積地域(その間隔約1000km)に大別される。さらに南東のサウジアラビア東部からオマーンにいたる広大な陸棚内の詳細はよくわからないが、必ずしも均一に平坦安定ではなかったようである。

地区差はあるが、海進・海退の大きい動きは、上記の3地区の層序と相の変化から知ることができ、その大綱はカタル地区の資料(SUGDEN & STRADRING, 1975)から推すと南東部にも適用できるようである。

アラビア亜大陸にはジュラ紀後期の海進が著しいが、この大サイクルの続きは所によってはネオコミア

ン前期に迄及ぶ。次にバレミアンからセノマニアン迄の大サイクルがある。その中で、小周期として、アプチアン前期末と、アルビアンと、セノマニアンに海進氾濫がある。但しアルビアンののはイスラエルでは前・中期が海進、後期では海退に転ずるのに対し、中部アラビアでは末期に小海進がある。セノマニアン・チューロニアン境ごろから地変(断裂、横すべり、傾動、撓曲)が始まり、上昇地・盆地の配列の変化があった。これはチューロニアン・コニアシアン・サントニアン初期に迄及び、全体としてみればこの時期は海退的であるが、その中に地区により小海進が認められる。例えばイスラエル及び近接地では、チューロニアン初期の浅い海進(その最大は初期の末期)、一時海退してチューロニアン後期にもう1つの小海進、コニアシアンの小海進、コニアシアン末～サントニアン初暁の海退と侵食といった記録がある。第3の大周期はサントニアン(所によってはカンパニアン)から始まりマストリヒチアンに最大となる海進である。そのあと急速に海退するが、所によりダニアン・小海進が認められる。

資料が欧米ほど完全ではないが、アラビア亜大陸にみる海進・海退の周期は1, 2, 3地域とは異なること、テチス海の北側に面する4の地域とはかなり類似すること、地域内の地変の影響が明らかに認められることを知る。

7. アフリカ北部

アフリカ北部の卓状地は中生代のテチス海の南側にあり、白亜紀に浅海が及んだのはエジプト・リビア・チュニジア及びアルジェリア諸国北半部である。シチリア島及び現在海底下の Pelagian shelf もこの卓状地の一部とみなされている。地層の地表露出は限られた部分であり、地下の資料は一部だけが利用できる。従って情報が乏しいが、NAIRN (*In* MOULLADE & NAIRN, 1978) の要約は有益である。

この地域も全くの平坦地ではなく、ジュラ紀末、ならびに白亜紀に入ってから時の折の地変により、おもに NE-SW に走る上昇地と盆地が配列し、また NNW-SSE のスエズ盆地は三畳紀以来の沈降帯であった。

卓状地の南半部にはいわゆる Nubian 砂岩などの陸成層が形成された。これも丘陵で隔てられたいくつかの平坦地(湖沼を含む)や河川系の堆積物とされている。北半の浅海成層はおもに上部白亜系である。セノマニアンは下位の諸層上をオーバーステップして広がるが、きわめて浅い海の石灰岩(150~190m)で代表される。次第に浅海は広がり、その最大氾濫期はマストリヒチアンにある。場所によっては海進は暁新世にまで及ぶ。

アフリカ北部の上部白亜系はごく浅海成で厚くない(上部白亜系全部で500m 又はそれ以下)所が多いようだが、エジプト北部で知られるように1000~1500m に達する部分もあった。以上は概括的の要約で、地区差の詳細は省く。

8. アフリカ東部及びマダガスカル

この地域も基盤は先カンブリア界から成るが、中生代の地質状況には特殊なものがある。すなわち、おもに前半に(一部では白亜紀にも及ぶ)陸成盆地堆積と基性火成岩の活動が特徴的であり、その一部にだけ時に海成層が挟在する。後半には海成層が多くなり、一部に陸成層が移化または挟在する。盆地形成と火成岩の噴出には断層運動が関係する。この運動と堆積とは同時的に行なわれていた。所で沖合海底も含めて、断層に沿う大規模な水平移動があったと考える学者と、大した変位はないとする学者とあり、決断にはなお証拠が不足である。後者の場合には、現在の位置としては沖合にあるソマリー盆地とナタル盆地と、中間のモザンビーク海峡・マダガスカル3地域が大別され、Seychelles の海台の東側やマダガスカルの東側を通る NNE-SSW の断裂が東アフリカの東限とすることになる。現在東アフリカの海岸地域やマダガスカルの西側に分布する白亜系は、上記3地区の堆積区のほんの縁辺部のものといえる。

大観するとこの地域の中生界はジュラ紀から白亜紀に及ぶ堆積大サイクルを示す。その中にいくつかの海進・海退のサイクルが含まれる。キンメリジアン・最大海進のほか、白亜紀中のサイクルは地域によって

必ずしも同じでない。例えばソマリランドではバレミアンから始まり、アプチアンからアルビアンに広がる前期白亜紀のサイクルと後期白亜紀のものと識別されるが、マダガスカルでは、(1) ネオコミアンからアプチアン初期にわたるサイクル (パランギニアンに海進最大)、(2) アプチアン後期からチューロニアンにわたるもの (アルビアン～セノマニアンに広がる)、(3) コニアシアンのもの、(4) サントニアンからマストリヒチアンにわたるもの (カンパニアン初期が最大)、(5) ダニアンという5サイクルが認められる (マダガスカルの資料は BESAIRIE & COLLIGNON, 1960 がよくまとまっている。地域ごとの詳しい層序は BESAIRIE & COLLIGNON, 1972にある)。

ナタル盆地の南アフリカ側周辺部については KENNEDY & KLINGER (1975) による新しい知見がある。マダガスカルと似た点もあるが、全く一致はしていない。例えばネオコミアンの大部分は陸成層で、バレミアン後期～アプチアンから海進が始まることはマダガスカルと逆である。後期白亜紀のサイクルは似るが、セノマニアン末～チューロニアンの大部分は海退期となっている。

9. アフリカ西部

西アフリカ海岸地帯には、海底部をも含めて白亜系が発達する。北大西洋南部に面するモロッコ南部の Tarfaya から Rio de Oro にわたる地帯と、南大西洋に面するセネガルからアンゴラにわたる地帯とは一応区別すべきであり、後者も Niger 河流域以西と以南を区別して考察すべきであるが、それにも拘らず概観的には共通して、下部白亜系の主部は厚い碎屑性堆積物 (多くは陸成層) から成り、これはアフリカ西縁を形成する断層運動と深く関係する。アルビアンごろ (早い所ではアプチアン) から海進がはじまり、上部白亜系はおもに海成層である。この大きいサイクルの中に一進一退の中位のサイクルが含まれる。後者の詳細を地区別に吟味するのが好ましいが、資料が必ずしも十分でない。かなりよく研究され、また海進が内陸にまで及んだのはナイジェリア・カメルーン地域で、その要約は次のとおりである (おもに REYMENT et al., 1975による)。(1) アルビアン中期末から後期の初めにかけて 氾濫期のある海進、(2) セノマニアン後期末から始まりチューロニアン前期に広がる海進 (この時期に Benue 低地をへてコンゴにまで海が侵入し、また北アフリカの浅海と南大西洋側浅海とが連絡し、テチス海要素のフォーナが移住した)、(3) コニアシアンの海進、(4) カンパニアン後期からマストリヒチアン初期にわたる広い海進 (サントニアンにおける地変で Benue 低地の海域は閉じ、ニジェール河低地をへて、北アフリカの浅海と連絡)、(5) マストリヒチアン末から暁新世にわたる部分的な海進。

概観的には北アフリカと西アフリカとは類似するし、(4) (5) は共通的とみなすことができるが、(1) (2) (3) の周期についても一致していたか否かは疑問がある。北アフリカに隣接するアラビア亜大陸北西部では、この次元での海進・海退の時期は若干ずれている。例えば(2)、(3)に当たる時期は地域間の差が著しい。

10. ブラジル西岸

9 とは南大西洋を距てて対峙している地域で、広い先カンブリア界の基盤をもつブラジルでは、北東及び北西海岸地帯にだけ海成白亜系が知られる。平野の地下試料や大陸棚の海底試料もあるが、陸上の露出の資料が豊富なのは Sergipe-Alagoas 地区である。ここを中程に置いて、ほぼ750～1000km の間隔で堆積区が配列しているのは興味がある。ネオコミアンは陸成層であり、アプチアンからパラリックの堆積が始まり、アルビアンから以降後期白亜紀にかけての海進の大きいサイクルがある。その中にいくつかの海進・海退のサイクルが含まれるが、それらの詳細が上記堆積区ごとに一致した周期を示すかどうかは、まだ必ずしもわかっていない。堆積区間には一種の地量が想定されている所もあるので、断層運動の影響もあったはずである。

Sergipe 地区で究められた海進の周期は次のとおりである (REYMENT et al., 1975による)。(1) アルビアンの海進 (その中期が最大とみなされている)、(1)～(2) セノマニアンは海成層もあるが、ごく浅海成でかつ分布が不連続なので、全般的には海退期とみなされる、(2) チューロニアン～コニアシアン前期

の海進 (Vascoceratids などを含む下部チューロニアンよりは *Benueites* で特徴づけられる“中部チューロニアン”の方が広がっているとみなされている。そして海成層は *Solgerites* を含む下部コニアシアンまで続くという), (2)~(3) コニアシアン中ごろ以降からサントニアンの大部分は海退期, (3) カンパニアン~マストリヒチアンの海進 (サントニアン末期から開始), (4) ダニアンの小海進。

ここで9の地域と比較した場合, 9における(2)と(3)とが10における(2)に一括されて対応していることと, 前者の(2)の氾濫期と後者の(2)のそれとは一致せず, 後者ではおこなわれているのではないかという疑問が生ずるが, 対比や層序の詳細についてはブラジル側にはなお研究の余地が残されている。

11. オーストラリア

この地域は東部の古生代造山帯以外は大部分先カンブリア界の基盤から成る安定大陸である。所が, この大陸では, 他大陸と異なりアプチアン~アルビアン (日本のK3) に内陸に広がる大海進を中心に, その上下は陸成層という堆積の大きいサイクルがある。

堆積盆地 (現在の Great Artesin Basin に当たる部分) は大陸の中央部よりやや東にかたよっており, その中に北から, Carpentaria B., Eromanga B., Surat B. などが分けられ, それらの間隔は, これまた数100km である。海進は北から及んでおり, C. B. の方に沖合相が認めらる。

この地域の白亜系はマクロの化石に基づき DAY (1969), 微化石 (双鞭毛藻類と花粉・孢子) に基づき MORGAN (1977) が要約したものが有益である。それによると, 大きいサイクルの中に4つの海進・海退のサイクルが認められる。(1) ネオコミアンは大部分陸成層だが, 末期に部分的な小海進, (2) アプチアンの最も広い海進, (3) アルビアン初期の海進, (4) アルビアン後期の海進がそれである。

MORGAN はこの海進・海退の原因を海面変化 (ユースタシー) に帰しているが, 他大陸の多くの場所で海進期たるアルビアン中期は, 当地域では(2)(3)間の小海退であり, 後期白亜紀には他大陸では広く海進が及ぶのに対し, 当地域では陸成層が無堆積であり, 海成上部白亜系は豪州大陸の北西, 西, 南側の周辺部 (Darwin B., Carnavan B., Perth B., Eucla B., Otway B.) に知られるが, あまり内陸部には及んでいない。地下や海底下の試料もあるので, 各盆地ごとの海進・海退の地史とその対比は必ずしも明確ではない。第1図には代表的に西岸の Canarvon B. と Perth B. の層序から読みとられる海進・海退のサイクルを示した。

12. インド亜大陸

3地域に海成白亜系が分布する。その1は北西部のカッチ (Cutch) 地方で, 海成ジュラ系の発達で著明だが, その上位に南アフリカと類縁のフォーナをもつネオコミアン, さらに下部アプチアンがある。

その2はデカン高原下ナルマダ (Narmada) 低地に散見する白亜系の諸層である。DASSARMA & SINHA (1975) によると, 下部白亜系 (Nimar 砂岩) はおもに非海成で, 最上部に“*Ostrea* 層”が挟在する。上部白亜系 (Bagh Beds) は浅海成層で, セノマニアン~チューロニアンは石灰質砂岩~石灰岩, コニアシアンに *Ostrea* 層, それ以上に無化石のチャート質石灰岩 (非海成?) といった層序で1つの大きいサイクルが認められている。その海進最大期の詳細な時期がいつかは決めかねるし, 第3の地域との共通種が少ないことも注意すべきである。

その3は南東部のトリキノポリ (Trichinopoly) 地域で SASTRY et al. (1968) が要約しているが, その知見は前回 (松本, 1967) と大差ない。

III. 結びの試論

前章に記述した世界のおもな安定地域 (正確にいうとその中の最もよく研究された地区) における海進・海退の地史を要約すると第1図が得られる。前回 (松本, 1967; MATSUMOTO, 1977) に比し知見の改正が入れられているとともに, 海進が面積的に広がった氾濫期を矢印で示した。この図及び前章の記述から考察すると次のことが指摘される。

Fig. 1. Diagram showing cycles of transgression-regression during the Cretaceous period in some representative stable areas of the world. (世界の代表的安定地域における白亜紀の海進・海退のサイクルを示す図)

の中に構造的高地と凹地とが(多くの場合数100~1000kmの距たりで)配列しており、それらは近接する変動帯の方向や位置と無関係でない。堆積期間中の緩慢な曲隆曲凹運動の場合も、断層運動の場合もあるが、各地域固有の地殻運動にも、海進・海退の現象はかなり影響されているとみななければならない。

(6) しかし私は海面運動の影響を全然否定するものではない。海面運動と地域的構造運動と両者の合同の効果として、具体的海進・海退の現象があらわれているとみたい。両者をいかに識別するかは容易でないが、具体的攻究を進めつつ、正確な対比をすれば、解明できないことではなからう。

(7) 試論として、白亜紀には海面は漸次増大していったと考えてみたい。その原因は種々考えるし、一部はすでに指摘されているが、大洋底ライズの生成発展による海底の広い部分の隆起、海底火山の噴出、隆起、火山性噴出による水の増加、変動帯における造山運動の進行(今まで海面下にあった地向斜に山系が生成)に伴う海域の縮小、山系からの侵食運搬による堆積物の海底下への埋積など、いずれも白亜紀が地殻変動的に活発なことに関連した原因で、海水面が上昇したのであろう。水の絶対量の増加は必ずしも小さくなくてよいと思う。この相対的の海面上昇が、グローバルなスケールでは漸次であったと思われるが、可能性としては周期性をもっていたかも知れない。先に挙げたどの現象にも周期性があるから。し

(1) 世界全般を概観すると、白亜紀の海進はネオコミアンよりもアプト〜アルビアン、さらに後期白亜紀と、後のものほど海進の規模が広がっている。とくに後期白亜紀は、詳細は地区によって異なるが、どの安定大陸にも海進が及んでいる。そして、白亜紀末には急速に海退し、暁新世のある時期には、世界的規模の大海退期がある。

(2) 海進・海退の大きいサイクルは白亜紀中に2回もしくは3回認められるが、同じ大洋に面した安定地域間では、およそ共通の大きいサイクルを認める。さらに場合によっては、その次の次元のサイクルの周期まで、少なくとも一部は時期的に一致または僅かずつれているということもある。

(3) しかし一般的にはこの程度の小さいサイクルとなると、時期は一致しない。ある地区で海進氾濫期に他の地区では海退期ということさえ少なくない。これは対比を亜階又は化石帯のオーダーにまでさげて吟味した上でのことである。

(4) 従ってこのオーダーの海進・海退までも主因を海面変化(ユースタシー)に求めるのは妥当でない。

(5) 他方各安定地域の地質構造的性質をよく調べると、どの地域でも、そ

かし諸現象が世界各地で同時に呼吸を合わせた周期を示したかは疑わしい。造山運動1つをとっても否である(例えば MATSUMOTO, 1977a の論じた環太平洋地変の実例を見てもわかる)。このことから、海進・海退のかなり細かい周期(白亜紀中におよそ10もあるようなもの)までも、世界共通のユースタシーの周期と読みとる学説は、話がうますぎて不自然である。

(8) 上記の試論だと、大海進は全世界的に地殻変動の活発な時にむしろ起こることになる。これは一見非常識に見えるが、オルドビス〜シルル紀にせよ石炭紀にせよ、大海進の時代は大きい地変のあった時代であり、そのあとに世界的規模の海退が来ている。

(9) この大海退の原因は何か、これは難問だが、むしろ活発だった動きが鈍るか止まるかすることと関係があるのではなからうか。陸上ではアイソスタシーの均衡を回復するため上昇する所が多くなろう。大洋底下のマントルの動きが鈍くなるに伴い、海洋の底が以前より深くなり、必然的に海水は陸上から退くこととなる。この事変は海洋底堆積物の層序に何らかの形で記録されているにちがいない。RONA (1973) によると世界的規模で暁新世に大洋底堆積物に一種の不連続が認められるということで、これを上記のような見地から考察してみても如何であろうか。

以上の試論は、部分的には HALLAM (1963, 1969) や JOHNSON (1971) の所論と似るが、正反対の部分もあり、一応私自身の長い間の疑問に対する現時点での1つの解答である。

海進・海退という表層地質的な現象は、詰りは地殻下内部物質の動きや変化の直接・間接的な反映であるということになる。その方面の専門家と提携して今後の研究を進めるべきであろう。

引用文献

- BESAIRIE, H. and COLLIGNON, M. (1960) : Madagascar (Supplément). *Lexique Stratigr. Intern.*, 4, Afrique, fasc. 11, Paris.
- BESAIRIE, H. and COLLIGNON, M. (1972) : Géologie de Madagascar. I. Les terrains sédimentaires. *Ann. Géol. Madagascar*, 35, 463p.
- CALDWELL, W. G. E. (ed.) (1975) : Cretaceous System in the Western Interior of North America. *Geol. Assoc. Canada Spec. Pap.* 13.
- COOK, T. D. and BALLY, A. W. (ed.) (1975) : Stratigraphic Atlas of North and Central America. Princeton Univ. Press.
- DAY, R. W. (1969) : The Lower Cretaceous of the Great Artesian basin. In CAMPBELL, K. S. W. (ed.): Stratigraphy and Palaeontology. Essays in Honour of Dorothy HILL, Aust. Natn. Univ. Press, Canberra, 140-173.
- DESSARMA, D. C. and SINHA, N. K. (1975) : Marine Cretaceous formations of Narmada valley (Bagh Beds), Madhya Pradesh and Gujarat. *Palaeont. Indica*, [N.S.], 42, 1-106, 12 pls.
- EVERNDEN, J. F. and KISTLER, R. W. (1970) : Chronology of emplacement of Mesozoic batholithic complexes in California and western Nevada. *U. S. Geol. Surv. Prof. Paper* 623, 42p.
- GILL, J. R. and COBBAN, W. A. (1973) : Stratigraphy and geologic history of the Montana Group and equivalent rocks, Montana, Wyoming, and North and South Dakota. *U. S. Geol. Surv. Prof. Paper* 776, 1-37.
- HANCOCK, J. M. (1975) : Petrology of the Chalk. *Proc. Geol. Assoc.*, 86, 499-535.
- HALLAM, A. (1963) : Major epirogenic and eustatic changes since the Cretaceous and their possible relationship to crustal structure. *Amer. Jour. Sci.*, 261, 397-423.
- HALLAM, A. (1969) : Tectonism and eustasy in the Jurassic. *Earth Sci. Rev.*, 5, 45-68.
- JELETZKY, J. A. (1977) : Causes of Cretaceous oscillations of sea level in Western and Arctic Canada and some general geotectonic implications. *Palaeont. Soc. Japan Spec. Pap.*, 21, 233-246.
- JELETZKY, J. A. (1978) : Causes of Cretaceous oscillations of sea level in Western and Arctic

- Canada and some general geotectonic implications. *Geol. Surv. Canada, Paper 77-18*, 1-44 [JELETZKY (1977) よりも詳述].
- JOHNSON, J. G. (1971) : Timing and coordination of orogenic, epeirogenic, and eustatic events. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **82**, 3263-3298.
- KAUFFMAN, E. G. (1973) : Stratigraphic evidence for Cretaceous eustatic changes. 1973 *Ann. Meeting Geol. Soc. Amer.*, p. 687.
- KAUFFMAN, E. G. (ed.) (1977) : Cretaceous facies, faunas, and paleoenvironments across the Western Interior Basin. Field Guide: North American Paleontological Convention II. *Mountain Geologist*, **14**(3-4), 75-274.
- KENNEDY, W. J. and KLINGER, H. C. (1975) : Cretaceous faunas from Zululand and Natal, South Africa. Introduction, stratigraphy. *Bull. Brit. Mus. (N. H.), Geol.*, **25**(4), 265-315.
- 松本達郎(1967) : 白亜紀海侵の本質について. 佐々保雄教授還暦記念論文集, 札幌, 39-55.
- MATSUMOTO, T. (1977a) : Timing of geological events in the circum-Pacific region. *Canad. Jour. Earth Sci.*, **14**, 551-561.
- MATSUMOTO, T. (1977b) : On the so-called Cretaceous transgressions. *Palaeont. Soc. Japan, Spec. Pap.*, **21**, 75-84.
- MORGAN, R. (1977) : New Dinoflagellate zones and a depositional model for the Great Australian Basin. *Geol. Surv. New South Wales, Quart. Notes*, **28**, 10-18.
- MOULLADE, M. and NAIRN, A. E. M. (ed.) (1978) : *The Phanerozoic Geology of the World II The Mesozoic*, A. Elsevier, Amsterdam, 529p.
- NAIDIN, D. P. (1959) : On the paleogeography of the Russian platform during the Upper Cretaceous epoch. *Stockh. Contr. Geol.*, **3**(6), 127-138.
- NAIDIN, D. P. (1960) : The stratigraphy of the Upper Cretaceous of the Russian platform. *Stockh. Contr. Geol.*, **6**(4), 39-61.
- NAIDIN, D. P. (1969) : Biostratigraphie und Paläogeographie der Oberen Kreide der Russischen Tafel. *Geol. Jb.*, **87**, 157-186.
- OBRADOVICH, J. D. and COBBAN, W. A. (1975) : A time-scale for the Late Cretaceous of the Western Interior of North America. *Geol. Assoc. Canada Spec. Pap.*, **13**, 31-54.
- REESIDE, J. B. (1944) : Map showing thickness and general character of the Cretaceous deposits in the Western Interior of the United States. *U. S. Geol. Surv. Oil & Gas Invest. Map OM-10*.
- REYMENT, R. A., BENGTSON, P. and TAIT, E. A. (1975) : Cretaceous transgressions in Nigeria and Sergipe-Alagoas (Brazil). *Intern. Symp. Continental Margins Atlantic Type, São Paulo*, 28p.
- RONA, P. A. (1973) : Worldwide unconformities in marine sediments related to eustatic changes of sea level. *Nature Physic. Sci.*, **244**, 25-26.
- SASTRY, M. V. A., RAO, B. R. J. and MAMGAIN, V. D. (1968) : Biostratigraphic zonation of the Upper Cretaceous formations of Trichinopoly district, South India. *Geol. Soc. India, Mem.* **2**, 10-17.
- SUGDEN, W. and STRANDRING, A. J. (1975) : Qatar Peninsular. *Lexique Stratigr. Intern.*, **3**, Asie, fasc. 10b3, Union Intern. Sci. Geol., Paris.
- VERESHCHAGIN, V. N. and RONO, A. B. (ed.) (1968) : *Atlas of the Lithological-Paleogeographical Map of the USSR*, **3**, Acad. Sci. USSR.
- WOODLAND, A. W. (ed.) (1975) : *Petroleum and the Continental Shelf of North West Europe*, **1**, Geology. Applied Sci. Pub., Barking, 501p.

(1979年3月7日受理)