後氷期の海面変動——日本の場合——

阪 口 豊*

On the Postglacial Sealevel Changes in Japan

Yutaka SAKAGUCHI

最近の後氷期の海面変動の研究については、杉村 (1977)、森脇 (1978)、太田ほか (1982)、KIDSON (1982) などの手頃な総説があり、いまさらあらためてこの種の解説を書く必要もないくらいであるが、ここでは今まであまり取り上げられなかった問題を含め所見を述べることにする。

I. 海拔10m 説

後氷期の始まりをいつにするかについてはさまざまな意見があるが、多数意見に従って1万年前とすると、後氷期の海面変動というのは、最終氷期の最低海水準の時代つまり2万年から1万8,000年BPから現在にいたる〔最終融氷期、FARRANDは大陸氷のもっとも外側のモレーンから氷床が初めて後退し完全に消滅するまでの期間を deglacial hemicycle とよんだ (BLOOM 1971)〕S字を長くのばした、いいかえると積分記号のような海面変動曲線の上部のほぼ2分の1か3分の1を問題にすることになる。

筆者が学生であった1950年前後には、日本における後氷期の海進である有楽町海進 (東京下町の完新世の含貝海成層である有楽町層に因んでつけられた) あるいは縄文海進の最高海面は海拔10mに達したという説が有力であった。当時日本の沖積平野の地形発達史をやろうという時には必ずといってよいくらい地形図の海拔10mの等高線を色鉛筆でなぞったものである。海拔10m説の提唱者が誰であるのかさだかではないが、関東地方の貝塚の分布から縄文海進極相期の旧汀線を復原した東木竜七が、その時の海面が海拔10mに達したと述べていると書いている論文がある。しかし、東木はほんとうにそう述べているのであろうか。少くとも東木の有名な論文‘地形と貝塚分布より見たる関東低地の旧汀線’をよく読めば、そのような見解はどこにも見当たらないことがわかる。東木は‘地形的旧溺れ谷と地形的旧海岸線’の項で“溪谷の地形を瞥見するに恰も細長い溺れ谷を見るやうであるが、殊に溪谷底の標高10m附近まではそれが顕著であって其溪谷底は溺れ谷の干潟を想はせる。今假に溪谷底の標高10mまで海水が侵入したとすれば其海岸線と其海水面下に覆はるゝ溪谷底の輪廓線とは其形状極めて類似し、両線の隔たりも現海岸線上で10mであって此から次第に減少し湾頭では同一の線となる。此假海水の侵入せる溪谷の部分を地形的旧溺れ谷といひ、此旧溪谷底を地形的旧海底とし、其谷底の輪廓線を地形的旧海岸線といふ”の文章は仮定として標高10mを取り上げているのであって、しかもこの‘標高10m’を東木は高さというよりも位置の目安とみなしているものと読み取れる。この筆者の解釈は次の文章によって一層明白になる: ‘貝塚分布を見ない加須丘陵の東端の海岸線は凡そ現今の等高線10mの附近を通過したものと推定して大過はない’。

東木は河流の堆積作用による見かけの海退を問題にしているくらいだから、標高10mをもって定められた地形的旧海岸線の高さは海拔10m以下であるという認識があったと見るのが当然であろう。東木論文の主旨は陸地の沈降にともなう海水の侵入によってできた溺れ谷の海域が貝塚分布極限と一般に一致することから、貝塚成立時代 (東木はきわめて近い過去といっている) の旧海岸線を決定することであって、そ

* 東京大学理学部地理学教室 Department of Geography, University of Tokyo

の時代の海面高度を問題にしたものではない。したがってこの論文から東木が10m説を唱えたとは読み取れない。縄文海進の最高海水準10m説は東木論文の誤解から生じたものではあるまいか。最近まで10m説に対する反論を目的として論文や文章が散見されるが、そのような議論は意味がないだろう。

現在、日本各地の縄文海進の最高海水準、つまり marine limit は、房総・三浦半島南部、大磯丘陵南部（海拔10m以上、最高25m以上）などの隆起地域を除くと、海拔0から6mの間にあり、その時代は7,000から4,000年BPの間にある場合が多い。

II. 世界共通の変動はない

原田豊吉は‘本邦汀線の変遷’と題する論文で、日本列島の汀線が得られた限りのデータではすべて後退していることを明らかにした。この論文で扱われている汀線は必ずしも完新世のものばかりではないが、そのデータの多くは今日の縄文海進最高海水準到達以降の状況を示しており、日本における完新世の斉一的海面変動論の最初の論文ではないかと思われる。このような斉一的海面変動の原因として、世界一様の海面運動であるユースタシー説は地殻の不安定な日本では容易には受け入れられなかった。ユースタシーの原因には大洋底の変動にともなう tectono-eustasy と、氷期・間氷期の氷河の消長にともなう glacio-eustasy があるが、日本の斉一的海面変動の原因として glacio-eustasy が多くの研究者に受け入れられるようになったのは1950年以降であったと思う。

一方、日本列島の汀線の変化がユースタチック運動と地殻変動の組合せによって起るのではないかと述べたのは大塚弥之助である。彼はユースタチック運動の存在を認めるとすれば、地盤運動は比較的地盤の安定なところにおける海面の陸地に対する上昇量を推定することによってその概略を知ることができるかも知れないといっている。のちに述べる hydro-isostasy を予見した杉村のような先見の明のある研究者を除くと、ごく最近までの海面変動の研究者の主目的の一つは局地的な地殻変動を浮き彫りにするための日本あるいは世界共通の変動曲線を求めることにあったように思われる。しかし、今日このような試みは無意味なことが明らかにされている。

その理由を図を使って簡単に説明するが、その前に、世界各地の海面変動曲線の特徴についてふれておきたい。世界の変動曲線は3つの型に大別される。第1は後氷期の最高海水準が現在よりも高かったとする FAIRBRIDGE 曲線に代表されるタイプ、第2は現在が最高とする SHEPARD 曲線に代表されるタイプ、第3は3,600年BP以降現在と同じ水準を保っているという JELGERSMA 曲線のタイプである。さて、陸地に氷床が形成されると氷床におおわれた地殻はへこみ、氷床の周縁辺はおし上げられて帯状のふくらみをつくる（第1図）。氷床が融解・消滅すると地殻はアイソスタチックに回復し隆起するが、まわりのふくらみは逆に沈降する。一方、融氷水のために海水量は増加しその荷重のために海洋底がおし下げられる。このさい海岸地帯では曲隆がおけると予想される。海水量の増減にかかわる地殻の均衡を hydro-isostasy と呼んでいる。

第2図には後氷期にアイソスタチックな回復が行われている隆起地域（白地に小丸）とそれを取り囲む沈降帯、つまりかつての氷床の周縁に

あっておし上げられて帯状にふくらんだ地帯が図示されている。WALCOTT はここに¹⁴C年代が2,500—5,000年BPの陸

第1図 (RAMSAY 1924)

説明は本文を見よ、他も同様。

第2図 (WALCOTT 1972)

成泥炭と海生貝殻の産地を入れてみた。泥炭はこれが堆積する以前の海面は確実にこれよりも下にあることを意味し、貝殻は当時の海面は貝殻包含水準より確実に高い水準にあることを示す。WALCOTT はある地点の旧海面が現海面より高い証拠には海生貝殻を、現海面より低い証拠には陸成泥炭を用いた。結果は陸成泥炭による年代の地点は沈降帯の中に限られ、その他の地域はすべて貝殻による年代の地点となった。つまり、2,500—5,000年 B P にはアイソスタックに回復している地域の周辺では当時の海面は現在よりも低く、この地域では SHEPARD あるいは JELGERSMA の曲線が妥当である。一方同地域の外側ではこの期間海面は現在よりも高かったことになり、ここでは FAIRBRIDGE の曲線が妥当である。というのは、18,000年 B P 以後におこった海水量の急増期の海面上昇速度は日本の通常地殻変動速度にくらべ1桁も大きかったので、地殻の動きは海面の動きに打ち消されて海面変動曲線にはっきりとあらわれないけれども、問題の2,500—5,000年 B P はスカンジナビアやローレンタイド氷床が消滅し海水量の変動がわずかになった時期であったので、地殻の動きの影響が海面変動曲線にあらわれやすくなったためである。つまり最後の地域では海岸地帯の曲隆の影響があらわにあらわれているとみる。WALCOTT のこの図は glacio-isostasy と hydro-isostasy を考慮した地球の変形モデルがほとんど動かしがたい現実であることを示している。

ところで、ならした大洋の表面、つまり平均海面がジオイドであるが、ジオイドの形は地球内部の密度分布や構造などの影響をうける。glacio-isostasy や hydro-isostasy を考慮した地殻の変形がマントル物質の移動をとめない、海水量の変化で質量分布が変れば、後氷期のジオイドも時間とともに変化するはずである。つまり、もはや世界斉一の海面変動曲線を求めることは無意味になったのである。いまや、過去の海面変動の研究は地球内部の構造を探る地球レオロジーの研究につながるものとして新たな脚光をあびるようになった。

III. 十人十色の海面変動曲線

それでは、後氷期に現海面より高い海水準を示す地域に属する日本列島では、斉一的な海面変動がおこ

Fig. 3 Examples of Holocene sea-level curves.

- 1: Japan, Kanto and Tokai districts
- 2: Hokkaido and northeastern Japan
- 3: Osaka and Nobi Plains, central Japan
- 4: Japan Sea side of central and western Japan
- 5: Boso Pen., Ryukyu Islands and others

第3図 (太田ほか 1982)

ったのであろうか。第3図は太田ほかによってまとめられた日本各地の海面変動曲線である。これが事実であるとするとき、同一地点でも研究者の見方のちがいで異なる曲線が得られるということになるが、おそらく、同一地点でも研究者の見方のちがいで異なる曲線が得られる可能性が大きい。したがって研究者の数に相当するだけの独自の曲線が生れるであろう。

これが実状であるとしても、曲線を比較するときには次のようなことに注意しなければならない。

まず、曲線が必要にして十分なデータによって描かれているかどうかという疑問である。これは完全な曲線ですよと自信をもっていえる研究者がどれだけのいるだろうか。また、あるべき海水量変動（気候変化や氷床のサージに起因する）が、ある曲線では表現されているが他の曲線ではとらえられていないということはないだろうか。次に、曲線の表現の仕方に個人差があるだろうということである。得られた少ないデータ・ポイントを忠実に結んで曲線を描いているかも知れないし、多数のデータ・ポイントを点のバラツキとみなして傾向線を描いているかも知れない。

次に曲線グラフの横軸つまり時間の精度についてみると——1) しかるべき試料の放射年代値や、年代既知のテフラなどを利用しているか、2) その数はいくつか、いいかえると time control point は何点あるか、3) ^{14}C 年代値は測定値そのものを使っているのか、補正值 (*Pinus aristata* の年輪との比較によると1,000 B C ^{14}C 年では110—140年, 3,000 B C ^{14}C 年では640年, 4,500 B C ^{14}C 年では740年若くでている)を使っているのか、4) 放射年代測定に使われた試料に古い炭素 (dead carbon) や新しい炭素が混入していないか——などの点について各曲線で事情が異っているおそれがある。よい試料について ^{14}C 年代測定を行ったとしても、現在の測定の精度からみて10年オーダーの議論はまだ無理であろう。

縦軸つまり海水準の高さ（あるいは深さ）の変動は海水量の変化、ジオイドの変化、地盤運動（アイソスタチックな回復、テクトニックな変動）によっておこる海水準の変化を汀線の高さの変動としてとらえたものであるが、曲線の差異をもたらし要因として次のようないくつかの問題がある。順不同で取り上げてみよう。

- 1) 曲線の差異に局地的な地殻変動がどの程度寄与しているのか。
- 2) 旧汀線の指標 (sealevel indicator) として何を使ったか、ノッチ、ベンチ、shore platform、サンゴ礁の離水地形か、堆積物や生物化石か。
- 3) 1本のボーリングコアのみで旧海面高度を判定する場合、その地点が丁度旧汀線に当たるということはまれである。それが後水期の海成層を含む場合、旧海面は一般には海成層の上限より当時の海の深さの分だけ高かったはずであるが、図示された海面高度とは海成層上限なのか補正を加えたもののなのか。
- 4) 得られた汀線高度は平均海面なのか、高潮位面なのか、低潮位面なのか、それとも潮間帯の任意の海面なのか、一つの曲線は同じカテゴリーの海面によって描かれているのか、ちがうカテゴリーのものが混在しているのか。
- 5) 海進時の海岸線や海底の地形は現在と異なっていたから過去の潮差は現在と同じではないはずである。とくに過去の潮差が大きかった場合には問題が複雑になる。第4図は大きな潮差のところで堆積した無機質の河口成ないし海成の堆積物の上に泥炭が形成された入江の模式断面図である。このようなところにある干潟では、半日周潮の大部分は海水におおわれることがなく、また大潮の高潮時には短時間かぶるが、小潮の高潮時にはおそらく全くかぶらないから、そこには塩性植物が繁茂して泥炭地ができる。この泥炭地は海面上昇速度が泥炭の堆積速度を上まわらないならば生きつづけるはずである。実際にはA地点で明らかなように、海面上昇は4,750年B Pに停止したのであるが、広くデータを集めないでC地点のデータだけで解釈すると、6,500年B Pに海面上昇が停止したという誤った結論を下すことになる。
- 6) 地層は圧密や乾燥・脱水で収縮するが、この点を考慮して層準の高度を定めているか。
- 7) 旧汀線の指標となった地形面や堆積物の表面高度はしかるべきベンチマークから水準測量によって得られたものか、それとも地形図から読み取られたものか。

第4図 (JORDINE 1975)

このほかにも気になる誤差の原因があるであろう。わずかな差の海面変動を議論するためには以上述べたような点に配慮する必要があるが、既製の曲線にはこれらの点について十分な配慮がなされているであろうか？

IV. 重大な基礎研究の欠如

以上述べた海面変動曲線に関する諸問題のうちでもっとも基本的かつ重大な問題は汀線の指標の問題である。武永のノッチ、ビーチロックの研究、豊島、高橋ほかの岩石海岸における海蝕地形などの研究、前田ほかのある種の珪藻と黄鉄鉱の存在が指標になるという指摘、海外では GILL の shore platform の研究など、地道な海面変動の基礎的研究は決してないわけではないが、精緻な議論にたえるようなデータを得るには現状はなお不十分であると感じざるを得ない。

ここでは茅根 創(東大大学院)の研究の一端を同君の好意によって紹介したい。汀線の指標となる地形は陸上のみならずそれに続く浅海底の地形の知識を必要とすることはいうまでもない。にもかかわらず浅海底地形の研究はおろそかにされているのが現状である。勿論研究がとくれている原因の一つとして、その研究には特殊な技能や特殊な装置が必要なことや、個人で行うことの難しさがあげられる。しかし、そのような困難を克服しようという努力の気配はあまりみられないように思うのである。茅根は海成段丘や完新世の堆積物、離水サンゴ礁がどのようにして形成され、どのようにして残されて行ったか、現在の海岸や浅海底の地形と堆積物がどうなっていて、それが離水した地形とどのように対応しているのかということが何ら解決されていないことから、得意のダイビングを活用して房総半島の岩石海岸や琉球列島、マリアナ諸島のサンゴ礁海岸の研究を続けている。

房総半島南部では関東地震で隆起した大正ベンチを基準にして現海水準で形成された海岸地形の姿を明らかにした。結果は真新しいものとはいえないが、研究者自身の目でたしかめられた浅海底の地形が具体的に説明されたところに意義がある。それによると地形は次のようになっている：大正ベンチに続いて一段低いベンチ1がある。これは平均海面に対応して形成されたもので比較的平坦、乾湿変化が形成の主因であると考えられる。これに一段低いベンチ2が続く。ベンチ2は低潮位前後にでき、凹凸にとみ、その前部に rampart (高まり) をもつ。ベンチ2のレベル以下では常に湿っていて、ベンチ2は乾湿変化による侵食の限界に形成される。ベンチの最前部は砕波により常に海水をかぶるため rampart として高まりが残る。この rampart の前面は nip とよばれ、すんと2～5 m程度垂直に落ちる。nip の付け根には submarine notch が見られることもある。nip の前方には海方へゆるやかに傾く platform が広がる。

それが侵食面であることは明らかであるが薄く砂礫をのせている（因みにベンチはほとんど堆積物をのせていない）。ここで明らかにされたことは、この一連の地形が platform のレベルまで隆起したとしたら、海水準として正しくはベンチ 1 の高さをおさえるべきであるのに、ベンチ 2 の面や nip の付け根でおさえるという誤りをおかす可能性が多分にあることである。とくに nip の付け根を旧汀線と見誤った場合の誤差は非常に大きい。

サンゴ礁の地形は物理的過程に加えて生物学的・化学的過程が大きく関与し、複雑で動的な発達を行っている。しかしサンゴ礁の離水地形を扱った研究は地形の平坦さに目をうばわれ、これを安易に海面に対応させているきらいはないであろうか。礁の前縁の浅海底には一つの海面に対して何段かの平坦面ができるのが普通であるから、安易に各平坦面に海面を割り当てることはつつしむべきであろう。海面変動をもっともよくあらわすのは礁主部であるが、この礁主部にしても海面に追いつくまでにはいくらかの時間間隙があるといわれており、サンゴ礁の発達と海面変動を結びつけるときには慎重な配慮が必要である。

最近の海面変動の議論では肝心の基礎的問題の解決をなおざりにして海水準の数値の細かさばかりが競われているように思えてならない。この辺で sealevel indicators に関する徹底した総合研究を地理学者だけではなく、地質学・海洋学・気象学・生物学・水産学・工学などの研究者の協力を得て実施してはどうであろうか。

主要文献

- BLOOM, A. (1967) : Pleistocene shorelines : a new test of isostasy. *GSAB*, 78, 1477-1494.
 — (1971) : Glacial-eustatic and isostatic controls of sea level since the last glaciation. In TUREKIAN, K. K. (ed.) : *Late Cenozoic Glacial Ages*, 1-606.
 GILL, E. D. (1972) : The relationship of present shore platforms to past sea levels. *Boreas*, 1, 1-25.
 原田豊吉 (1889) : 本邦汀線の変遷. 地学雑誌, 1, 561-566.
 JORDINE, W. G. (1975) : The determination of former sea levels in areas of large tidal range. In SUGGATE, R. P. and CRESSWELL, M. M. (eds.) : *Quaternary Studies*, 163-168.
 KIDSON, C. (1982) : Sea level changes in the Holocene. *Quat. Sci. Rev.*, 1, 121-151.
 前田保夫・松島義章・佐藤裕司・熊野 茂 (1982) : 海成層の上限 (marine limit) の認定. 第四紀研究, 21, 195-200.
 森脇 広 (1978) : 完新世における海水準変動の諸問題—諸外国の例—. 地理評, 51, 176-187.
 太田陽子・松島義章・森脇 広 (1982) : 日本における完新世海面変化に関する研究の現状と問題—Atlas of Holocene sea-level records in Japan を資料として—. 第四紀研究, 21, 133-143.
 大塚弥之助 (1931) : 日本島の沖積期初期の海岸線の変化とその沿岸陸棚に発達する沈溺谷に関する時代的考察その他. 地理評, 7, 447-458.
 RAMSAY, W. (1924) : On relations between crustal movements and variations of sea-level. *Bull. Com. Géol. Fin.*, 66. In ANDREWS, J. T. (ed.) (1974) : *Glacial Isostasy*, 1-491.
 杉村 新 (1977) : 氷と陸と海. 科学, 47, 749-755.
 TAKAHASHI, T. (1974) : Geomorphological study of shore platforms —analytical and genetical—. *Sci. Rep. Tohoku Univ.*, 7th ser. (Geogr.) : 24, 115-163.
 — and Koba, M. (1975) : Reef flat and beach rock of southern Tokunoshima, Ryūkyū Islands. *Sci. Rep. Tohoku Univ.*, 7th ser. (Geogr.), 25, 189-196.
 武永健一郎 (1965) : Beach rock の成因について. 地理評, 38, 739-755.
 — (1968) : Notch の形態と成因について. 地学雑誌, 77, 17-29.
 東木竜七 (1926) : 地形と貝塚分布より見たる関東低地の旧海岸線. 地理評, 2, 597-658, 659-678, 746-773.
 豊島吉則 (1967) : 山陰海岸における海蝕地形に関する研究. 鳥取大教育学部研究報告 (自然科学), 18, 64-98.
 WALCOTT, R. I. (1972) : Past sea levels, eustasy and deformation of the earth. *Quat. Res.*, 2, 1-14.