陸橋と黒潮変動：沖縄トラフからの発信

氏 家 宏*

沖縄トラフは、琉球島弧の北西側に並走して発達し、さらに北西側に展開する広大な東シナ海大陸棚外縁を縁どっている。現在、そこに黒潮が流入しているが、最終氷期には、推定されている“琉球—台湾陸橋”によって流入を妨げられて、南琉球弧南方沖で大きく東へ転向していたと考えられている。この仮説を琉球弧周辺海域、特に沖縄トラフから得た多数のピストン・コアの安定酸素同位体比測定、タンデム加速器質量分析計による ^{14}C 年代測定、浮遊性有孔虫群集解析などから確かめた。さらに沖縄トラフのコアでは、浮遊性有孔虫 *Pulleniatina* グループが最終氷期と同様に、約 4,400 年前以後約 1,000 年間、ほぼ欠如に近い産出を示すことから、陸橋区域に黒潮の本格的な流入を妨げるバリエーが形成され、黒潮主流の転向と南方へのシフティングを促したと推論した。この事件が、これまでにいわれている前期縄文時代後半における寒冷化をもたらしたのかもしれない。

キーワード：琉球—台湾陸橋、黒潮、沖縄トラフ、ピストン・コア、第四紀後期

I. はじめに

25 年前に沖縄が本土に復帰した翌年から 2 年間、国立科学博物館の「日本列島自然史科学総合研究」の一環として、沖縄の自然調査に赴いた。その結果、2 編の論文以外に琉球列島の地史と生物地理区との関連についての考察（氏家・斎藤，1974）を発表した。世界の動物地理区は、古くから北界・新界・南界に分けられ、北界は全北区と旧熱帯区に 2 区分されている。全北区中の旧北亜区と旧熱帯区中の東洋亜区との境界が、琉球弧のなかに設定されていたのである（徳田，1941）。こうした背景のもと、哺乳動物地理区境界線としてトカラ海峡に設定された渡瀬ライン、昆虫相から大隅海峡に引かれた三宅ライン、鳥類相から沖縄群島と宮古島間に求められた蜂須賀ラインなどが提唱された。

1977（昭和 52 年）に琉球大学理学部海洋学科に着任して以来、私は多数の教え子たちと琉球列島の地質に関する本格的な研究を進めたが、その間、多くの生物学者から生物地理区形成を裏付ける地史的証拠について問い合わせを受けてきた。最近では、DNA 解析に基づいて求められた類縁種群の遺伝的距離から種分化の時代についての提言もなされるようになった。しかし、陸上地質から

の情報は数十万年から百万年単位のものであって、そうした要望に十分に答えられるものではなかった。

一方、琉球大学海洋学科では、文部省単位互換制度によって長崎大学水産学部・長崎丸の協力のもと、乗船実習が行われるようになった。これを活用して、1980（昭和 55）年より琉球列島周辺海域でのピストン・コアの採取を開始し、1996（平成 8）年 11 月までに 50 本以上を得ている。その採集密度は、北西太平洋では群を抜いている。現在では、コア解析の時間分解能は千年単位に達しており、最新の生物地理区問題に寄与できる可能性が出てきた。これらコアからの膨大なデータに基づいて、現在も主として海外の国際誌への投稿を進めている。本稿では、その一部を用いて表題の問題にアプローチしたい。

II. 沖縄トラフ

沖縄トラフは、九州から台湾まで約 1,200 km にかけて発達する琉球弧の北西側を平走する海盆である。その水深は、南西に向かって約 800 m から 2,000 m 以上に達する。同トラフの北西には広大な大陸棚が発達し、黄河、揚子江、銭江などの大河川が流入している。それらが残したと思われる溺れ谷の末端は、沖縄トラフまで達し

ている(図1)が、流入した土砂は完新世を通じて、大部分が大陸海岸近くの大陸棚に堆積しているようである(Alexander *et al.*, 1991; Stanley and Chen, 1993)。沖縄トラフから得た9本のコアの粒度組成に関する限りでは、顕著な陸源性堆積物の流入は完新世を通じて認められなかった(Hatakeyama, 1995)。ただし、表層を漂ってきた陸源植物片の流入が、現在にかけて減少している点は顕著であった(氏家・中村, 1996; Ujiie *et al.*, submitted*)。また、沖縄トラフからの11本のコアにおける堆積速度は、平均して1,000年に約48.7cmであるのに対して、中・南琉球海溝斜面からの5本のコアでは

約0.8cmから3.5cmに留まる。後者では底層流による部分的な削剥作用という堆積条件も考慮せねばならないが、河川による堆積物粒子や風成塵の関与による堆積速度の増加も考える余地がある。そのマーカーを模索中である。

現在、北赤道海流から転身した黒潮は、台湾と琉球弧南端の間を抜けて沖縄トラフに流入し、沖縄トラフと大陸棚外縁の境付近を北東に流れて、コリオリの力などにより東へ転向、トカラ海峡・大隅海峡を経て本州南方沖にいたる。しかし、この現況は、以下に述べるように最終氷期などには大きく違っていたことが予測される。

図1 使用したピストン・コアの位置図と、琉球弧周辺域の地勢
東シナ海大陸棚については10m間隔の等深線を記した。

III. 黒潮変動と陸橋

当初は、大陸河川の関与と黒潮変動との関係を求めるべく、沖縄トラフ内の大陸棚外縁寄りの地点から 12 本のピストン・コアを採取したが、ここではそのうちの 9 本の解析例を示す(図 2)。浮遊性有孔虫 *Globigerinoides sacculifer* を用いた安定酸素同位体比($\delta^{18}\text{O}$)の変化は、最北西部の五島海盆から得たコア RN95-PC1 を除くと、すべて上方(現在)に向けて減少する。つまり、氷床の融解に伴う温暖化が認められる後氷期を示すコアであることが分かった。後氷期後半では、酸素同位体層序からは

詳細な年代値を求めることはできないので、*G. sacculifer* の殻 400 個以上を用いて、タンデム加速器質量分析計による ^{14}C 年代(AMS ^{14}C)測定を名古屋大学の中村俊夫氏に依頼した。その結果の一部を図 2 中にボード数字で示した。

浮遊性有孔虫群集の変動から古海洋環境の変化を知るのもコア解析の常套手段である。そのためには、現世における分布と海洋環境との関係を求める必要がある。そこで、琉球弧周辺海域一帯から得た 56 の表層堆積物中の群集組成を調べた。類似の研究の多くはピストン・コアのトップやドレッジ・サンプルを用いているが、前者

図 3 琉球弧周辺海域から求めた表層堆積物における *Pulleniatina* グループ(浮遊性有孔虫)の産出頻度分布

ではトップが流動して失われることが多く、後者ではかなりの深さまでかき取ってしまう。そこでパイロット・コアラ、マルチプル・コアラ、およびオケアン式採泥器による表層 1~2 cm を用いた。ここでは *Pulleniatina* グループの分布のみを示す (図 3)。図 3 で認められるように、本グループは熱帯種であるだけでなく、黒潮主流沿いに多産する特徴をもつことが分かった。ピストン・コアにおける同グループの産出状況を見ると、コア下部から上方にかけて、いずれも増加している (図 2)。

ここで想起されるのが、最終氷期における台湾から南琉球弧を経て奄美大島にいたる陸橋 (琉球-台湾陸橋) である (Ujii *et al.*, 1991; Ahagon *et al.*, 1993, 図 4)。これは主として、陸上の地質や、琉球弧特有の動物地理区から想定されたものである。約 1,800 年前と同等されている沖縄本島の港川人も舟なしで渡来できた、ということになる。この陸橋が存在していたならば、黒潮は沖縄トラフへ流入できずに、南琉球弧の南方沖で東へ大きく転向してしまう。当時 (特に冬) は南北方向の海水温勾配が急であった (CLIMAP Project Members, 1981) こ

とから、黒潮は図 4 に示したように北上せずに、そのまま東へ流れたであろう。最終氷期の北西太平洋地域の寒冷化は、世界的な寒冷化に加えて、黒潮主軸が北上しなかった影響にもよるのであろう。

後氷期の海水準上昇以外に、この陸橋がアクティブなテクトニクスを受けて消失するにつれ、黒潮がトラフへの流入を開始する。上述の *Pulleniatina* グループの増加は陸橋の消失を指示するものであろう。同グループの変動幅が南西から北東にかけて減少しているのも、この消失の様子を物語っている。 $\delta^{18}\text{O}$ 値の減少、つまり温暖化も、この点を加味する必要がある。トラフ最南部の南琉球弧に接近した場所で採取されたコア RN96-PC1 下部にのみ認められる堆積間隙 (hiatus) も、このテクトニクス変動を反映したものであろう。最近、Hsu and Sibuet (1995) や Ujii *et al.* (1997) は、南琉球弧の変動および南沖縄トラフの拡大が約 1 万年前を中心として活発になってきた点を指摘している。

ここで、最北東部から得たコア RN95-PC1 に注目すると、理由は不明だが、堆積速度が遅く、酸素同位体ステージ⑥までに達している。全体として変動幅は小さいが、ステージ②からステージ④にかけて (つまり最終氷期全体) を通じて *Pulleniatina* グループの産出がゼロに近い。つまり、琉球-台湾陸橋は約 7.5 万年前から約 1.2 万年前にかけて存在していた可能性がある。

IV. 約 4,000 年前を中心とした黒潮変動

ここで図 2 を見直してみると、*Pulleniatina* グループが約 4,400 年前を中心として欠如しているか、稀少となっている。コア RN96-PC1 の AMS ^{14}C 年代値からすると、約 4,400 年前から約 3,300 年前にかけて約 1,000 年間に及ぶ event である。これが、年代査定は不十分であるものの、Jian *et al.* (1996) の *Pulleniatina* minimum event であるが、彼等は世界的冷涼化によると考えている。しかし、酸素同位体比にはその兆候は現れておらず、暖かいままである。南極やグリーンランドの氷床コアに基づく詳細な解析でも、この時期の寒冷化は報告されていない (例: O'Brien *et al.*, 1995)。代わりに Ujii *et al.* (submitted**) は、この時期に黒潮の本格的流入を妨げるバリアーの形成を提唱した。

そうなると、当時の黒潮は最終氷期と同様、ないしより小規模ながら、本州のはるか南方を流れていたことになる。房総半島沖や遠州灘沖からのコアの研究でも、約 4,000 年前の寒冷化が認められている (Chinzei *et al.*, 1987)。松島 (1984) も本州の内湾性貝化石群集から、約 5,000 前以降に亜熱帯-熱帯種が消失した、と指摘している。また安田 (1989, 1990) は、前期縄文時代後半の寒

図 4 現在と最終氷期最盛期における黒潮系

後者については主軸のみを示す。最終氷期最盛期の海岸線のトレースに際しては、水深低下の最大推定値 (120 m) を用いた。

冷化を指摘した。いずれも世界的寒冷化を原因と推定しているが、前述のように証拠に欠けている。黒潮の大規模な南下との関連を肯定するにせよ、否定するにせよ、こうした陸上の event と *Pulleniatina* minimum event の正確な対比がまず望まれるが、陸上では海底コアの場合のように連続的な time scale を得るのが困難であろう。

以上の *Pulleniatina* グループの最終氷期と約 4,400 年前における急減は、紙数の関係で図示できないが、沖縄トラフ内の島弧寄りからの 2 本 (RN88-PC5, RN93-PC8, 図 1), 大隅海峡を抜けた場所での 1 本のコア (RN94-PC3) にも共通して認められている。それに反して、沖縄トラフ外つまり琉球海溝斜面からのコア (RN87-PC4, RN89-PC2, RN93-PC11, RN95-PC4) には認められない点を付言しておく。

V. む す び

本稿では、沖縄周辺海域からのピストン・コアの解析から最終氷期の琉球—台湾陸橋の存在と、約 4,000 年前を中心とした南琉球弧域におけるバリエーの存在を示唆した。それは、単に琉球弧周辺の古環境を支配するのみでなく、本州やその周辺の古環境にも影響を与えたのではないかと推察した。より詳細な議論は Ujiie *et al.* (submitted**) を参照していただきたいが、現世有孔虫群集の多変数解析と、それに基づくコアの再解析が進められつつある。さらには、決して多くはない本州沖からのコアを増やして、本稿で示唆した観点からの研究が望まれる。

第四紀学会は、多分野にわたる研究者により構成されている。特に、考古学的あるいは生物学的立場からのご教示をいただきたい。

引 用 文 献

- Ahagon, N., Tanaka, Y. and Ujiie, H. (1993) *Florisphaera profunda*, a possible nannoplankton indicator of late Quaternary changes in sea-water turbidity at the northwestern margin of the Pacific. *Marine Micropaleontology*, 22: 255–273
- Alexander, C.R., Hamelin, B., Fairbanks, R.G. and Zindler, A. (1991) Sediment accumulation in a modern epicontinental-shelf setting: The Yellow Sea. *Marine Geology*, 98: 51–72
- Chinzei, K., Fujioka, K., Kitazato, H., Koizumi, I., Oba, T., Okada, H., Sakai, T. and Tanimura, Y. (1987) Postglacial environmental change of the Pacific Ocean off the coast of Japan. *Marine Micropaleontology*, 11: 273–291
- CLIMAP Project Members (1981) Seasonal reconstruction of the earth's surface at the last glacial maximum. *Geological Society of America, Map Chart Ser., MC-36*: 1–18
- Hatakeyama, Y. (1995) *Postglacial oxygen isotope and C/N ratio changes observed in cores taken from the northwestern margin of the Okinawa Trough*. 101 p, Master Thesis, University of the Ryukyus
- Hsu, S.K. and Sibuet, J.C. (1995) Is Taiwan the result of arc-continent or arc-arc collision? *Earth and Planetary Science Letters*, 136: 315–324
- Jian, Z., Li, B., Pflaumann, U. and Wang, P. (1996) Late Holocene cooling event in the western Pacific. *Science in China, ser. D*, 39: 543–550
- O'Brien, S.R., Mayewski, P.A., Meeker, L.D., Meese, D.A., Twickler, M.S. and Whitlow, S.I. (1995) Complexity of Holocene climate as reconstructed from a Greenland ice core. *Science*, 270: 1962–1964
- 松島義章 (1984) 日本列島の後氷期浅海性貝類群集. 神奈川県立博物館研究報告, 15: 37–109
- Stanley, D.J. and Chen, Z. (1993) Yangtze delta, eastern China: 1. Geometry and subsidence of Holocene depocenter. *Marine Geology*, 112: 1–11
- 徳田御稔 (1941) 生物地理学. 199 p, 築地書館
- 氏家 宏・斎藤靖二 (1974) 日本列島の新生代地史と生物地理. 自然科学と博物館, 41: 131–139
- Ujiie, H., Tanaka, T. and Ono, T. (1991) Late Quaternary paleoceanographic record from the middle Ryukyu Trench slope, northwest Pacific. *Marine Micropaleontology*, 18: 115–128
- 氏家 宏・中村俊夫 (1996) 最終氷期以降における黒潮の沖縄トラフ流入の変遷. 月刊地球, 18: 524–530
- Ujiie, H., Nakamura, T., Miyamoto, Y., Park, J.O., Hyun, S. and Oyakawa, T. (1997) Holocene turbidite cores from the south Ryukyu Trench slope: Suggestions of periodic earthquakes. *Journal of the Geological Society of Japan*, 103: 590–603
- Ujiie, H., Hatakeyama, Y., Gu, X.X., Yamamoto, S. and Maeda, L. (submitted*) Upward decrease of organic C/N ratios in the Okinawa Trough cores: Proxy for tracing the postglacial retreatment of continental shore line. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleocology*
- Ujiie, H., Ujiie, Y. and Nakamura, T. (submitted**) Late Quaternary course changes of the Kuroshio Current in the Ryukyu Arc region, northwestern Pacific Ocean. *Marine Micropaleontology*

安田喜憲 (1989) イングス文明の盛衰と縄文文化. 日本
研究—国際日本文化研究センター紀要, 1: 205-272

安田喜憲 (1990) 気候と人類文明の盛衰. 358 p, 朝倉書
店

Late Quaternary Changes in the Kuroshio Current Due to Ryukyu—Taiwan Land Bridge Formation: Evidence from the Okinawa Trough Piston Cores

Hiroshi Ujiié*

The presence of a land bridge connecting Taiwan to central Ryukyu Arc (Ryukyu—Taiwan land bridge) during the last glacial period and its disappearance during the post-glacial episode are substantiated mainly based on oxygen isotope ratio analysis, AMS¹⁴C dating, and faunal analysis of planktonic foraminifera of 16 piston cores taken from the Ryukyu Arc region. The *Pulleniatina* group, planktonic foraminifera most characteristic of the Kuroshio Current, almost disappeared from the Okinawa

Trough area between about 4.4 ka and about 3.3 ka, likely in the last glacial period. This event suggests the appearance of a barrier that prevented the prominent flowing of the Kuroshio Current into the Okinawa Trough. The eastward turning of the Kuroshio at south off the southern Ryukyu Arc seems to have enhanced a cooling of Honshu (the main island of Japan), which may be correlated with the “late Early Jomon Period cooling.”

*Faculty of Engineering, Takushoku University. Tate-machi 815, Hachioji City, Tokyo, 193-0944.