

# エルニーニョのインド洋への影響と解析 —西オーストラリア沿岸ルーウィン海流への影響—

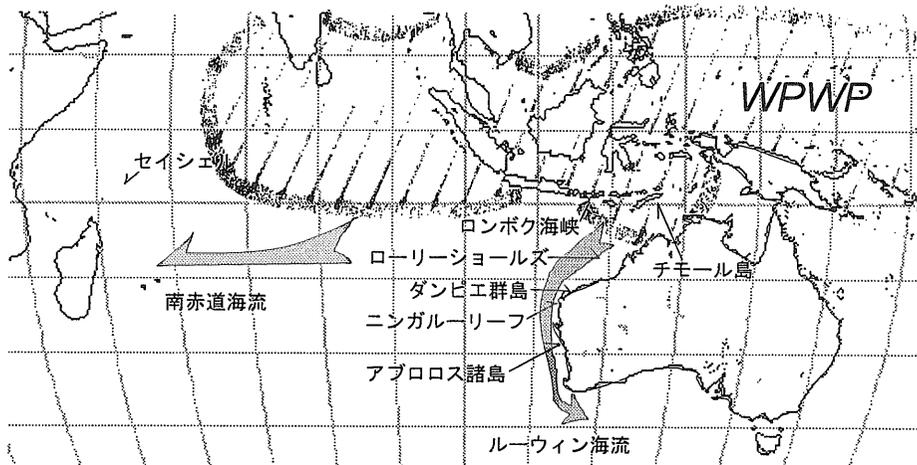
柴田 康行<sup>1)</sup>

## 1. はじめに

エルニーニョ/南方振動(ENSO: El Niño/Southern Oscillation)は、地球の気候システムを左右する大気・海洋相互作用に由来する現象の一つである。ENSOは2, 3年から数年の間隔を置いて一見不規則に生起する事象であるが、基本的には熱帯太平洋海域における大気・海洋結合システムの固有振動、ないしは正のフィードバックに基づく固有の不安定モードとして理解されている。また、太平洋赤道域の気候ばかりでなく遠く離れた北太平洋や北米大陸の気候にも影響を与えるほか、アジアの大陸域における特徴的な気候現象であるアジアモンスーンの変動とも密接にリンクしているとされる(安成, 1996)。

エルニーニョの歴史的变化とその海洋環境に与える影響については、水温変化の最も大きい太平

洋赤道域の東側ガラパゴス諸島から西側グレートバリアリーフにかけての各地でサンゴコアを採取して、その安定同位体比、元素比の解析に基づく研究がこれまでに多く報告されている(鈴木・川幡, 1998)。一方、インド洋側への影響に関するサンゴ研究はこれまであまり報告がない。西太平洋暖水塊(WPWP: Western Pacific Warm Pool)はインド洋側にも分布しており(Yan *et al.*, 1992: 第1図参照)、エルニーニョに伴うその東進によって、インド洋の気象・環境にも少なからぬ影響が及ぼされると考えられる。また、WPWPは太平洋からインド洋を抜けて大西洋に戻る海洋大循環(ベルトコンベアモデル)の主な通り道とされるインドネシア諸島を覆って存在しており、その移動が海洋大循環の帰還流(インドネシア通過流)、ひいては海洋大循環そのものにも影響を及ぼす可能性も考えられよう。



第1図 西太平洋暖水塊、インドネシア通過流とルーウィン海流の位置。インドネシア通過流は主にチモール島の南北、並びにロンボク海峡を通してインド洋側へ抜けると考えられる(本文参照)。ルーウィン海流にそった主なサンゴ礁の位置を図に記した。

1) 国立環境研究所 化学環境部：  
〒305-0053 茨城県つくば市小野川16-2

キーワード：ルーウィン(Leeuwin)海流、西太平洋暖水塊(WPWP)、  
ENSO、エルニーニョ、サンゴコア分析、インド洋

インドネシア通過流の存在は、核実験によってまき散らされたトリチウム( $^3\text{H}$ )の移動などによっても明らかである。インド洋中央部には東から西に向かって流れる強い南赤道海流が存在しており、通過してインド洋に出たトリチウムはこの流れに乗ってさらにアフリカ大陸西岸へと移動していく(Fine, 1985)。一方比較的最近になってオーストラリア西岸沿いに、南半球の大陸の西側としては異例の南方に流れる暖流(Leeuwin Current: ルーウィン海流)が存在することが広く認識されるようになり(第1図)、そのインド洋南東部への影響、WPWPやエルニーニョとの関連、エルニーニョによる影響が注目されるようになってきた。

本稿では、特にこのルーウィン海流に注目し、その概要、並びにインド洋側でのサンゴコア分析の報告例を紹介する。

## 2. ルーウィン海流の発見とその概要

大洋の海水は、貿易風に駆動される西向きの赤道海流をはさんで北半球では時計廻り、南半球では反時計廻りの大きな渦を作って回転し、大陸の東側では通常赤道へ向かう寒流が発達する。これに対し、オーストラリア西部に南に向かう暖流(ルーウィン海流)が存在することが観測され、広く認識されるようになったのは比較的新しい(Weaver, 1990)。それまでも遠洋水産研究所(木谷, 1977)をはじめいくつか南流する海流の報告が出されていたが、一般に広く認識されるようになったのは、船舶観測並びに漂流ブイの衛星追跡データをまとめたCresswellらの報告(Cresswell and Golding, 1980)が出されて以降のことである。Cresswellらはオーストラリア南西端のルーウィン岬を回ってさらに南のグレートオーストラリア湾(Great Australian Bight)に流れ込むこの海流をルーウィン海流と名付け、湾における暖水系生物相の存在からこの暖流の定常的な存在を確かめるとともに(Maxwell and Cresswell, 1981)、AVHRRの赤外データを解析して湾を横断して東端にまで至る海流の姿をとらえた(Legeckis and Cresswell, 1981)。

ルーウィン海流は、1) 他大陸西岸の海流と逆流し、赤道海流とは合流しない、2) その場所の卓越風と逆向きに流れる、3) 大陸西岸に強い湧昇が

発達しない、点で、他大陸西岸海流と際違った違いを示す。ルーウィン海流の発生位置はオーストラリア北西部とインドネシア諸島の間に広がるインド洋東部とされ、多くの渦や屈曲を作りながらオーストラリア西岸にそって南下し、ルーウィン岬で東に折れてグレートオーストラリア湾を東流しながら消えていく。オーストラリア西岸を南流する低塩濃度の熱帯水の帯はオーストラリアの秋から冬にあたる3月~8月頃にかけてははっきり認められ、特に3~5月頃が最も強いとされる。一方、南半球の夏に当たる12月、1月頃には一般に流れは弱まり、はっきりしなくなる(Cresswell and Golding, 1980; Cresswell, 1991)。上流の西オーストラリア北側では幅広く(200~400km) ゆっくりとした( $0.2\text{ms}^{-1}$ ) 流れであるが、南下するに従い狭く(50km前後) 早く( $>0.5\text{ms}^{-1}$ ) になっていく。それとともに、本流の海側を中心に複雑な渦が形成されるようになる。主軸は大陸棚のすぐ外側、深さ100m以深にある(Smith *et al.*, 1991; Cresswell, 1991; Holloway, 1995)。

ルーウィン海流は、インドネシア通過流起源の低塩濃度熱帯水にインド洋からの地衡流が加わって構成されると考えられている(Pearce and Phillips, 1988)。太平洋西部からインド洋に抜けるインドネシア通過流の主な経路はチモール島の北部と南部、及びロンボク海峡とされている(Toole, 1987)。その流量はロンボク海峡で $1.5 \sim 1.7 \times 10^6 \text{m}^3 \text{s}^{-1}$  ( $=1.5 \sim 1.7 \text{Sv}$ ; 以下 $10^6 \text{m}^3 \text{s}^{-1}$ をSvと略す)、全体では5Sv, 10Sv, 或いは14Sv等の推定値が報告されている(Wunsch *et al.*, 1983; Piola and Gordon, 1984; Fine, 1985; Toole, 1987; Murray and Arief, 1988)。一方、ルーウィン海流の流量は、最も強い南緯30度付近で6月前後に6~7Svが観測されている(Smith *et al.*, 1991)ほか、上流南緯17, 18度のローリーショールズ(Rowley Shoals)付近でも4Svの強度を持つ広くてゆっくりした流れが観測された(Holloway, 1995)。以上の結果はルーウィン海流がインドネシア通過流の流量に匹敵する規模のものであり、流れにそって形態は変化するものの流量としては比較的一定であることを示している。

WPWPの南西側にあたるインド洋東部の海面高度は周囲に比べて高く、インド洋東岸沿いの緯度方

向の海面高度変化は太平洋や大西洋の西岸沿いに匹敵する大きな変化を示す (Godfrey and Ridgway, 1985)。これは、主にインドネシア通過流の存在に起因するものと考えられており、この海面高度の差がルーウィン海流の主な駆動力と考えられている。南半球の冬季には、西オーストラリア海岸沿いの南風は弱く沖へ向かうエクマン境界層内の流れも弱いので、岸に向かう地衡流の圧力で強い南向きの流れ (ルーウィン海流) が生じる。一方、夏季には南風が強まりエクマン流も発達して地衡流の圧力を弱め、結果的に一定の流れが認められなくなる (Pearce and Phillips, 1988)。こうした季節変化の他に、エルニーニョに伴う暖水塊の東方への移動と海面高度の変化に伴ってルーウィン海流の強度も大きく影響を受けることが予想される。実際、海流の強さの指標の一つである西オーストラリア州南西部の港町フリーマントル (Fremantle) の海面変動の記録は、エルニーニョと高い相関を示す (Caputi *et al.*, 1996)。また、この海流の強弱が、南半球インド洋東部の生物生産とも密接な関わりを持つことが最近次第に明らかになってきている (Caputi *et al.*, 1996)。現在、オーストラリアを中心に、この海流に関する詳細な研究が進められており、その発生のメカニズムや生物生産に与える影響が様々に議論されている (Pearce and Walker, 1991 など)。しかしながら、観測の歴史が浅いこともあり、深層水や陸水流入と栄養塩の負荷の問題などまだまだ不明な点も多い。パナマ地峡が閉じる前 (300 万年前) の太平洋東部の環境は、大西洋赤道付近の暖かい水が流れ込んでくる点で現在の WPWP からインド洋東部にかけての状況と類似し

ていたとも考えられ (Weaver, 1990)、地球環境の過去を考える上でもエルニーニョ、WPWP とルーウィン海流の関係の解明並びに気候変動や炭素循環、地球環境への影響は重要なテーマである。

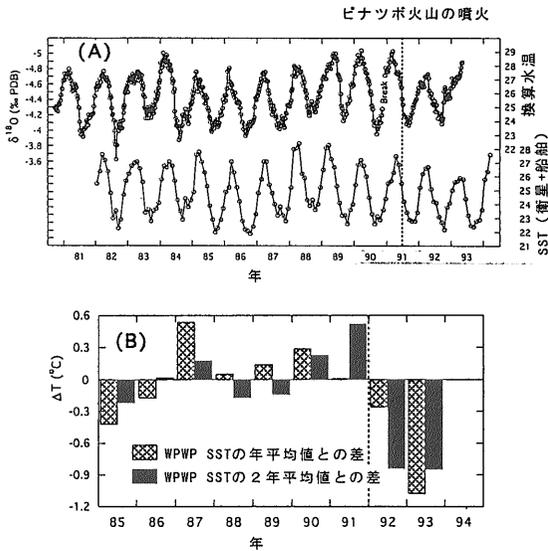
### 3. サンゴコアの解析

西オーストラリアの大部分は年間を通じて降雨量が少なく、大きな河川も無く、陸起源の負荷量は少ない。沿岸を流れる暖流の影響で各所にサンゴ礁が発達しており (第1図)、特に南緯29度付近のアプロロス (Abrolhos) 諸島は、南西諸島とならんで高緯度海域のサンゴ礁として有名である。また、アプロロス諸島は現在のサンゴ礁のすぐ外側 (西側) 斜面のかつてのサンゴ発達地帯に褐藻の海中林が広がる特異な生態系を持っており、この遷移の原因や時期等に関心が寄せられている (Hatcher, 1991)。サンゴは海洋環境変化の歴史を探る上で様々なすぐれた特徴を有しており、ルーウィン海流にそってサンゴ礁の並ぶオーストラリア西岸は、グレートバリアリーフを擁する東岸とならんでエルニーニョの過去の歴史と大きさ、環境影響を探る上で適当、かつ重要なフィールドと考えられる。なお、第1表にはサンゴコアに記録された環境情報の抽出に関する報告例をまとめた。詳細については本号別稿 (鈴木・川幡, 1998; 岡井, 1998; 渡邊ほか, 1998; 中森, 1998 など) を参照されたい。

ルーウィン海流沿いのサンゴコアの解析例としては、Gagan らの報告がある (Gagan and Chivas, 1995; Gagan *et al.*, 1998)。彼らは西オーストラリアの西北端にあたるニンガルーリーフ (Ningaloo

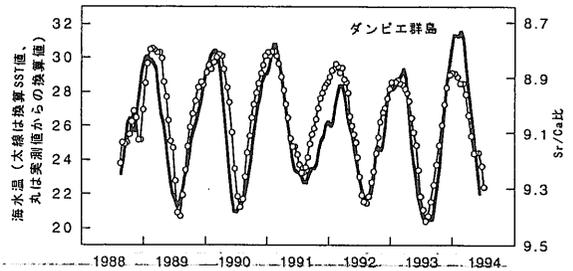
第1表 サンゴコア中に記録される過去の環境変化の分析指標例。

測定項目	反映される環境因子	文献例
酸素同位体比 $\delta^{18}\text{O}$	水温, 降雨, 陸水負荷量, 成長速度	Wellington and Dunbar (1995), Allinson ほか (1996)
炭素安定同位体比 $\delta^{13}\text{C}$	成長速度, 共生藻類光合成速度	Allinson ほか (1996), Swart ほか (1996)
放射性炭素比 $\Delta^{14}\text{C}$	海水鉛直混合, 湧昇の変化	Druffel (1997)
Sr/Ca比	海水温変化	Schneider and Smith (1982)
Ba/Ca比	湧昇流変化	Lea ほか (1989)
Cd/Ca比	湧昇流変化, 人為汚染	Shen ほか (1987)
Pb/Ca比	人為汚染	Dodge and Gilbert (1984), Shen and Boyle (1987)
Mn/Ca比	海水流・循環変化, 噴火, 熱水	Shen ほか (1991)
Fe/Ca比	水懸濁物質の量, 性質	Barnard ほか (1974), Howard and Brown (1984)
無機粒子	土壌流出 (海への流入), 森林破壊	Cortes and Risk (1985)
蛍光性物質	陸水 (フルボ酸) 負荷量	Isdale (1984), Boto and Isdale (1985)



第2図 ニンガルーリーフで採取されたサンゴコアの分析結果 (Gagan and Chivas, 1995). (A) 酸素同位体比と換算温度、並びに近傍海表面のSSTデータの比較. (B) WPWPの平均SSTと、32ヵ月ずらしたサンゴ測定結果との差。サンゴ測定結果は夏季(1~4月)の、WPWPは年間の平均値。1992年、1993年の負の大きな違いが顕著。

reef) 並びにその北東に位置するダンピエ群島 (Dampier Archipelago: 第1図参照) でハマサンゴ (Porites属) のコアを採取し、酸素安定同位体比及びSr/Ca比の高頻度測定を行った。ニンガルーリーフのサンゴコアは1980年までさかのぼって近傍のSSTデータと基本的によく一致する結果を与えた(第2図A)。WPWPの平均SSTデータとサンゴコア分析結果の比較では、32ヵ月(その間の海水の移動に要する時間と考えられる)ずらすことでもっとも良い一致が認められたが、1992年と93年に限って大きな差が認められた(第2図B)。Gaganらはこの差を1991年6月のピナツボ火山の噴火に伴う冷却現象に対応するものと解釈している。一方、ダンピエ群島のサンゴコア分析結果はSr/Ca分析結果を温度に換算する計算式の算出とバリデーションに使われている。21度から31度付近に至る10度前後の大きな年間変動を示していることが一つの特徴という(第3図)。SSTデータとの一致度はグレートバリアリーフのデータと比較して必ずしも高いとは言えず、年によってはかなりのずれが認められる。ダンピエ群島の試料は岸の近くの浅い所のも



第3図 ダンピエ群島で採取されたサンゴコアのSr/Ca比の変動と、SSTデータとの比較 (Gagan et al., 1997). ダンピエ群島のサンゴは海岸に近くこの場のSSTの季節変動が衛星観測データから得られた近傍の1°四方の平均値よりも大きいため、以前の観測結果を元に、

$$T_{(\text{その場})} = 1.67 T_{(\text{衛星})} - 18.67$$

という換算式で変換を行った結果を記載している。

ので、陸の影響を受けやすいことが原因ではないかと思われる。

我々は西オーストラリア海洋研究所と共同で、ルーウィン海流の上流と下流の2地点(ローリーショールズ、アプロロス諸島)でサンゴコアの採取を行い、Sr/Ca比、Mg/Ca比、酸素同位体比等の測定を進めている。コアの採取には油圧ドライブ方式のドリルを用い、ローリーショールズでは約100年に相当する長さ約1.8mの連続コアの採取に成功した(写真1a, b)。予備的な分析の結果はダンピエ群島のデータに似ており、かなり大きな季節変化を示すのが特徴である。今年から始まる科学技術振興調整費総合研究「炭素循環に関するグローバルマッピングとその高度化に関する国際共同研究」では、これらのコアの精密分析を行うとともに補完的な試料採取を進め、ENSOイベントの歴史とWPWPの変動、並びにインド洋側への影響解析に関する研究を推進する予定である。

その他にインド洋で採取された試料の分析報告としては、南赤道海流の下流側にあたるセイシェル諸島試料 (Charles et al., 1997)、タイのプーケット島試料 (Allison et al., 1996) の報告などがある。セイシェルの試料は約150年間に相当し、酸素同位体比の変動パターンのスペクトル解析を行って、太平洋のサンゴコアの解析結果やモンスーン時の降水量の変化、ENSO関連データとの比較が行われている。その結果、モンスーン変動に相当する12

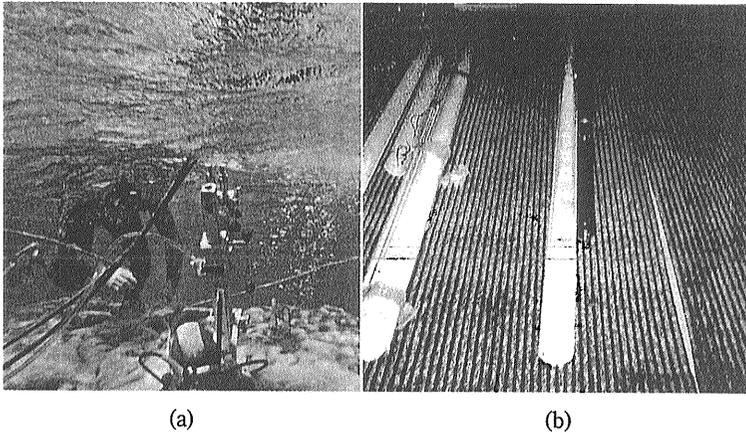


写真1  
ローリーショールズでのサンゴ  
コア採取風景(a)並びに採取  
コア(b).

年程度の周期的な変動がはっきり捉えられた。また、タラワ環礁サンゴコアの解析結果やダーウィンの気圧変動データときれいに対応する、3～6年周期のENSOイベントに対応する変動も認められている。さらにこの解析過程で、ダーウィンの気圧に認められる準2年周期の変動の振幅に、モンスーン変動に対応する約12年の周期性があることも見つかかり、ENSOとアジアモンスーンとの間の相互作用を示すデータではないかと指摘されている。なお、アジアモンスーンの解析に関しては、本号別稿(川幡・鈴木, 1998)を参照されたい。一方、プーケット島試料については連続したコア試料でないこともあり、長期間に渡る解析は行われていない。酸素、炭素安定同位体比が測定され、これらがサンゴの成長速度や白化現象によって影響されることが指摘されている。

#### 4. 今後の展望

以上のように、ENSO イベントの歴史的経緯とWPWPの変化、並びにこれらのインド洋側への影響を解析する上で、ルーウィン海流にそった一連のサンゴ礁での試料採取は重要な意義を持つと考えられる。先に述べた総合研究ではWPWPの周囲並びにその内部に多くの試料採取地点が設けられ、WPWPの変化の歴史が詳細かつ総合的に解析される予定であり、我々の結果もその一部としてWPWP周辺の海洋環境変化の解明に役立てられることが期待される。

ルーウィン海流にそったサンゴの分析でもう一つ

期待されるのは、ENSO, WPWPなどの変化に伴うこの海流の変化で、インド洋東部、オーストラリア近辺の海洋環境が受ける影響の解析である。最初にも述べたように、このルーウィン海流の発達とインド洋東部での大規模な湧昇流の欠如とは強いつながりを持つものと考えられている。しかしながら、局所的なレベルでの栄養塩の供給についてはまだ不明な点が多い。西オーストラリア北西端のエクスマス(Exmouth)周辺で採取されたジュゴンの牙の解析から、Zn濃度がエルニーニョの指標であるフリーマントルの海水面変化と相関を示して変動することが明らかになった(Edmonds *et al.*, 1997)。これが何を意味するのか現時点でははっきりしないが、ジュゴンは単純な食物連鎖の上に存在しており、この結果が局所的な栄養塩供給状態の変化を反映している可能性もある。サンゴはこうした変化を解析する上でも良い試料と考えられ、安定同位体比や主成分元素濃度比ばかりでなく、微量元素の濃度変化も重要な研究対象と考えられる。

謝辞：本稿を書く機会を与えていただいた、地質調査所川幡穂高氏、鈴木 淳氏に感謝します。

#### 文 献

- Allinson, N., Tudhope, A.W. and Fallick, A.E. (1996) : Factors influencing the stable carbon and oxygen isotopic composition of *Porites lutea* coral skeletons from Phuket, South Thailand, *Coral Reefs*, 15, 43-57.
- Barnard, L.A., Macintyre, I.G. and Pierce, J.W. (1974) : Possible environmental index in tropical reef corals, *Nature* 252, 219-220.
- Boto, K. and Isdale, P. (1985) : Fluorescent bands in massive corals result from terrestrial fulvic acid inputs to nearshore zone, *Nature* 315, 396-397.
- Caputi, N., Fletcher, W.J., Pearce, A. and Chubb, C.F. (1996) : Effect

- of the Leeuwin Current on the recruitment of fish and invertebrates along the Western Australian coast, *Mar. Freshwater Res.*, 47, 147-155.
- Charles, C.D., Hunter, D.E. and Fairbanks, R.G. (1997) : Interaction between the ENSO and the Asian Monsoon in a coral record of tropical climate, *Science*, 277, 925-928.
- Cortes, J. and Risk, M.J. (1985) : A reef under siltation stress, Cahuita, Costa Rica, *Bull. Mar.Sci.*, 36, 339-356.
- Cresswell, G.R. (1991) : The Leeuwin Current - observations and recent models, *J. Royal Soc. West. Australia*, 74, 1-14.
- Cresswell, G.R. and Golding, T.J. (1980) : Observations of a south-flowing current in the southeastern Indian Ocean, *Deep-Sea Res.*, 27A, 449-466.
- Dodge, R.E. and Gilbert, T.R. (1984) : Chronology of lead pollution contained in banded coral skeletons, *Mar. Biol.*, 82, 9-13.
- Druffel, E.R.M. (1997) : Pulses of rapid ventilation in the North Atlantic surface ocean during the past century, *Science* 275, 1454-1457.
- Edmonds, J.S., Shibata, Y., Prince, R.I.T., Preen, A.R. and Morita, M. (1997) : Elemental composition of a tusk of a Dugong, *Dugong dugon*, from Exmouth, Western Australia, *Mar. Biol.*, 129, 203-214.
- Fine, R.A. (1985) : Direct evidence using tritium data for throughflow from the Pacific into the Indian Ocean, *Nature*, 315, 478-480.
- Gagan, M.K., and Chivas, A.R. (1995) : Oxygen isotopes in western Australian coral reveal Pinatubo aerosol-induced cooling in the Western Pacific Warm Pool, *Geophys. Res. Lett.*, 22, 1069-1072.
- Gagan, M.K., Ayliffe, L.K., Hopley, D., Cali, J.A., Mortimer, G.E., Chappell, J., McCulloch, M.T. and Head, M.J. (1998) : Temperature and surface-ocean water balance of the mid-Holocene tropical western Pacific, *Science*, 279, 1014-1018.
- Godfrey, J.S. and Ridgway, K.R. (1985) : The large-scale environment of the poleward-flowing Leeuwin Current, Western Australia: Longshore steric height gradients, wind stresses and geostrophic flow, *J. Phys. Oceanogr.*, 15, 481-495.
- Hatcher, B.G. (1991) : Coral reefs in the Leeuwin Current - an ecological perspective, *J. Royal Soc. West. Australia*, 74, 115-127.
- Holloway, P.E. (1995) : Leeuwin Current observations on the Australian North West Shelf, May-June 1993, *Deep-Sea Res.*, 42, 285-305.
- Howard, L.A. and Brown, B.E. (1984) : Heavy metals and reef corals, *Mar. Biol. Annu. Rev.* 22, 195-210.
- Isdale, P. (1984) : Fluorescent bands in massive corals record centuries of coastal rainfall, *Nature* 310, 578-579.
- 川幡穂高・鈴木 淳 (1998) : アジアモンスーンとサンゴ年輪研究, *地質ニュース*, no.527, 20-25.
- 木谷浩三 (1977) : 1975年11月のオーストラリア西岸域における流動と海水特性について, *Bull. Far Seas Fish. Res. Lab.*, 15, 13-19.
- Lea, D.W., Shen, G.T. and Boyle, E.A. (1989) : Coralline barium records temporal variability in equatorial Pacific upwelling, *Nature* 340, 373-376.
- Legeckis, R. and Cresswell, G. (1981) : Satellite observations of sea-surface temperature fronts off the coast of western and southern Australia, *Deep-Sea Res.*, 28A, 297-306.
- Maxwell, J.G.H. and Cresswell, G.R. (1981) : Dispersal of tropical marine fauna to the Great Australian Bight by the Leeuwin Current, *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, 32, 493-500.
- Murray, S.P. and Arief, D. (1988) : Throughflow into the Indian Ocean through the Lombok Strait, January 1985-January 1986, *Nature*, 333, 444-447.
- 中森 亨 (1998) : サンゴ・シャコガイ骨格による古環境の解析, *地質ニュース*, no.527, 32-36.
- 岡井貴司 (1998) : サンゴ骨格年輪中の微量重金属元素で何がわかるか, *地質ニュース*, no.527, 48-52.
- Pearce, A.F. and Phillips, B.F. (1988) : ENSO events, the Leeuwin Current, and larval recruitment of the western rock lobster, *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, 45, 13-21.
- Pearce, A.F. and Walker, D.I. eds. (1991) : The Leeuwin Current: an influence on the coastal climate and marine life of Western Australia, *J. Royal Soc. Western Australia*, 74, 1-140.
- Piola, A. and Gordon, A.L. (1984) : Pacific and Indian Ocean upper-layer salinity budget, *J. Phys. Oceanogr.*, 14, 747-753.
- Schneider, R.C. and Smith, S.V. (1982) : Skeletal Sr content and density in *Porites* spp. in relation to environmental factors, *Mar. Biol.*, 66, 121-131.
- Shen, G.T., Boyle, E.A. and Lea, D.W. (1987) : Cadmium in corals as a tracer of historical upwelling and industrial fallout, *Nature* 328, 794-796.
- Shen, G.T., Campbell, T.M., Dunbar, R.B., Wellington, G.M., Colgan, M.W. and Glynn, P.W. (1991) : Paleochemistry of manganese in corals from the Galapagos Islands, *Coral Reefs*, 10, 91-100.
- Shen, G.T. and Boyle, E.A. (1987) : Lead in corals: reconstruction of historical industrial fluxes to the surface ocean, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 82, 289-304.
- Smith, R.L., Huyer, A., Godfrey, J.S. and Church, J.A. (1991) : The Leeuwin Current off Western Australia, 1986-1987, *J. Phys. Oceanogr.*, 21, 323-345.
- 鈴木 淳・川幡穂高 (1998) : サンゴ骨格による過去400年間の太平洋熱帯域の気候復元, *地質ニュース*, no.527, 13-19.
- Swart, P.K., Leder, J.J., Szmant, A.M. and Dodge, R.E. (1996) : The origin of variations in the isotopic record of scleractinian corals: II Carbon, *Geochim. Cosmochim. Acta.* 60, 2871
- Toole, J.M. (1987) : Problems of interbasin exchanges and marginal-sea overflows, *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 68, 136-140.
- 渡邊 剛・石下洋志・大場忠道 (1998) : カリブ海のサンゴ記録と海洋環境復元, *地質ニュース*, no.527, 37-42.
- Weaver, A.J. (1990) : Ocean currents and climate, *Nature* 347, 432.
- Wellington, G.M. and Dunbar, R.B. (1995) : Stable isotopic signature of El Niño-Southern Oscillation events in eastern tropical Pacific reef corals, *Coral Reefs*, 14, 5-25.
- Wunsch, C., Hu, D. and Grant, B. (1983) : Mass, heat, salt and nutrient fluxes in the South Pacific Ocean, *J. Phys. Oceanogr.*, 13, 725-752.
- Yan, X-H., Ho, C-R., Zheng, Q. and Klemas, V. (1992) : Temperature and size variabilities of the western pacific warm pool, *Science* 258, 1643-1645.
- 安成哲三 (1996) : 「岩波講座 地球惑星科学 11 気候変動論」岩波書店, 第2章

SHIBATA Yasuyuki (1998) : Analysis of the effects of El Niño on the Indian Ocean - Effects on the Leeuwin Current off Western Australia -

< 受付 : 1998年6月12日 >