

海洋古環境変化と陸源物質供給パターンの変化

池原 研¹⁾

1. はじめに

縁海とは大陸の縁辺にみられる島弧などの陸や浅海部によって大洋から分離された海のことです。太平洋の西側には北から南に向かってベーリング海, オホーツク海, 日本海, 東シナ海, 南シナ海, スル海, ジャワ海, バンダ海, サンゴ海といった縁海が並んでいます。縁海は, 大洋に比べて面積は小さいのですが, 海洋表層での一次生産が高いために海洋における物質循環を考える上で重要な海域と考えられています。このような縁海の高い一次生産は, 隣接する陸域からの栄養塩類や金属元素の供給が支えていると考えられます。陸域からの栄養塩類や金属元素の供給には大きく二つのパターンが考えられます。すなわち, 河川を経由するパターンと大気を経由するパターンです。河川を経由する供給量は, 河川流量と河川水中の濃度の積で表されます。河川水中の懸濁粒子の多くは淡水と海水の接点である河口域で沈積し, また溶存物質の多くも粒子に吸着したり, 化学種を変えることによって沈殿したりしてしまうので, 正確には言えませんが, ある河川における水中の濃度の時間変化が小さければ, 供給量の変化は河川流量の変化に主によることになると考えられます。ある河川の流量は流域の降水量に規制され, 降水量は陸域と海洋間の大気を通じての熱と水蒸気のやり取りのパターンによって変化します。一方, 大気を通じての供給量は供給源となる大陸内部の乾燥地の降水量と輸送する風の強さと風の軸の位置によって決まります。大陸内部の降水量や風の強さと軸の位置はやはり, 陸域と海洋間の熱や水蒸気のやり取りのパターンに影響されますし, より大きい地球規模での大気循環パターンにも関係します。これら陸

域-海域間の熱・水蒸気を通じたエネルギー循環や地球規模での大気循環の変化は海洋循環や海洋古環境と相互に関係しあっています。最近, 氷床コアや海底堆積物などで数百年~数千年周期の古気候変動の存在が明らかになり (Dansgaard *et al.*, 1993; Tada *et al.*, 1995; Behl and Kennett, 1996; Schulz *et al.*, 1996など), この原因について盛んに議論されています (Broecker, 1994; Oppo and Lehman, 1995; 多田, 1997, 1998)。ここで一つ重要な点は, 陸あるいは大気の変動と海の変動の間の関係です。ある地域で陸と海双方に認められる古環境変動の関係(海が先か, 陸が先か)や, より広域的にある地域と違う地域間で変動の表れ方や出現時期の相違点を明らかにしておくことが過去の古気候変動の原因究明には非常に大切になります(第1図)。ここでは, 陸と海の変動の関係について, 特に北西太平洋の縁海周辺を中心に, 見ていきたいと思えます。

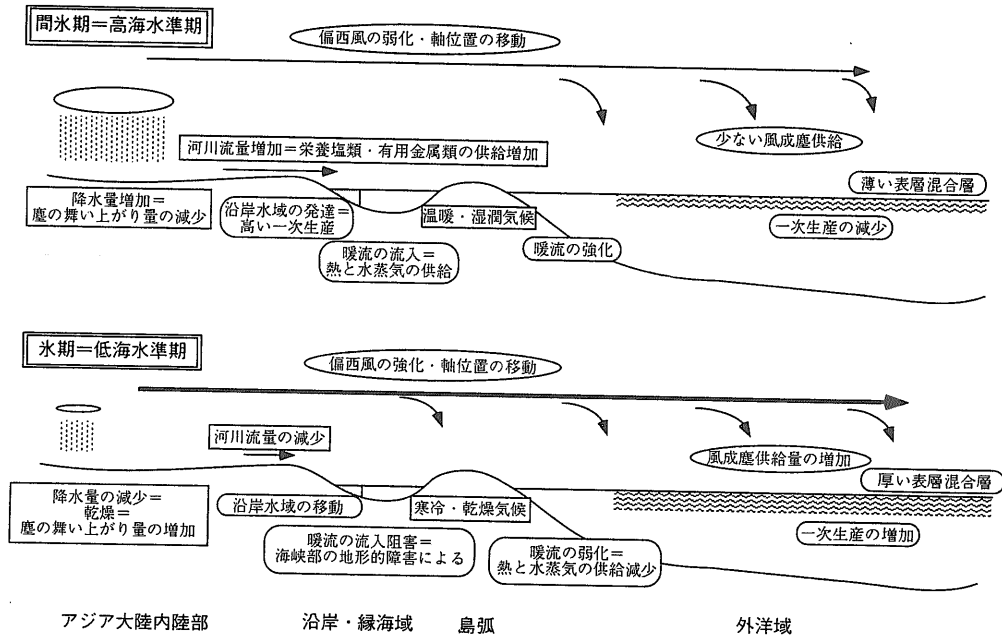
2. 陸源物質の指標

まず最初に, 何が陸源物質の指標となるかについて見てみましょう。

河川から供給されたものでも大気を通じて供給されたものでも, その供給源の地質を反映した鉱物・化学組成をもった物質が運ばれてきます。したがって, ある場所の海底堆積物はその場所への粒子の供給源の組成と供給量の量比に応じた鉱物・化学組成をもつことが期待されます。ただし, その場に到るまでの輸送過程や堆積後の諸過程の影響によって, 組成が変化させられる場合があります。また, 実際にはある場所への粒子の供給は供給物の組成の異なる複数の給源から行われるのが普通

1) 地質調査所 海洋地質部

キーワード: 陸源物質, 風成塵, 古気候, 降水量, 海洋古環境



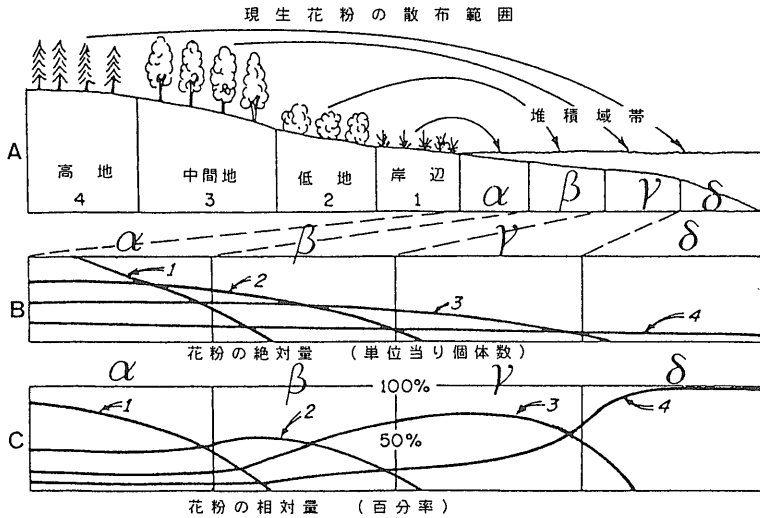
第1図 大陸-沿岸-縁海-島弧-大洋系の環境変動の模式図。海洋と陸上、大気の変動は互いに関係しあっている。

ですから、海底堆積物の組成から給源とその量比を特定するのはなかなか難しいことも多い訳です。例えば東シナ海の陸棚上の堆積物について、主な供給源である黄河と揚子江からの粒子はどのように拡散し、どのような量比でどこにどれだけ堆積しているのでしょうか？ まず現在の海洋物理条件と淡水の収支を考慮した海水循環モデルに、各給源からの粒子供給量を乗せてみると以下のことが分かります (Yanagi and Inoue, 1995)。すなわち、1) 現在の黄河河口からの粒子のほとんどは東シナ海の堆積物には影響していない、2) 済州島南方陸棚上の泥質堆積物の給源は旧黄河河口域と揚子江にある、3) 揚子江起源の粒子は東に運搬され、済州島南方から朝鮮半島沿岸域にも堆積している、といったことが分かります。このうちの1)、2)は、陸棚上の堆積速度の分布や堆積物の組成から推定されていたこと (Milliman et al., 1985; 斎藤・楊, 1994; 斎藤ほか, 1994) とよく一致します。3) については、済州島南方までは到達していることは分かってきました (斎藤・楊, 1994; 斎藤ほか, 1994) が、朝鮮半島沿岸域までというのはまだ確認されていません。次に、両者の物質がどれだけの量比でどこに堆積しているかについては、残念ながらまだよく分かっていません。しかし、最近のストロンチ

ウム同位体を利用した研究結果 (野原ほか, 1995) によればストロンチウム同位体比とカルシウム/チタン比の関係から、黄河系の堆積物と揚子江系の堆積物が分離でき、両者の混合比も推定できるとされています。そして、東シナ海中部の砂質堆積物分布域にも黄河系の堆積物の影響が及んでいること、黄河でも揚子江でもない別の端成分を起源とする堆積物の影響域があり、その起源として朝鮮半島起源の堆積物あるいは旧黄河河口域からの堆積物の可能性があることが示されました。堆積物の詳細な研究により、さらに供給・拡散・堆積様式が明らかになるものと期待されます。

鉱物組成も陸源物質の指標になる場合があります。例えば、深海堆積物の石英量や粘土鉱物であるイライト量は大気起源の粒子輸送量の指標になる場合があります (福澤・小泉, 1994)。また、石英粒子の酸素同位体比 (Mizota and Matsuhisa, 1985; 溝田・井上, 1988) や ESR 強度 (成瀬ほか, 1996, 1997)、石英粒子の天然熱蛍光 (鴈澤ほか, 1995) はこれらの供給源の識別基準となります。

有機物中の炭素/窒素比や炭素・窒素同位体比は海洋表層で生産されたものと陸上植物のものとでは異なりますので、海底堆積物中のこれらの値から陸源有機物の寄与をある程度評価することが



第2図
花粉粒子の供給・輸送パターン
(Traverse (1988)を改変した山
野井 (1993)による)。高地の植
生はより沖合の堆積物に記録さ
れる。

可能です。また、リグニンや長鎖n-アルカンといった陸上植物に特有の有機物の含有量も陸源有機物の供給量を推定する上で一つの目安となります (Stein, 1991)。

3. 乾湿変動の指標

降水量の変動はどのような指標で識別可能でしょうか？ 残念ながら遠い昔の雨量の記録はありませんから、間接的に推定するしかありません。最も一般的に使われるのは、花粉化石群集からみた古植生復元に基づくものです。日本周辺の後期第四紀では、スギが高い降水量の指標となります (塚田, 1974, 1980)。しかし、それぞれの樹木種毎に花粉の生産量や花粉の輸送過程は異なりますし、気候条件によって花粉の生産量も変化しますので、花粉の産出状況のみから古植生を定量的に復元することは不可能です。例えば、マツ科の花粉粒子は大きな気嚢をもつ特徴的な形態をしています。この大きな気嚢のため風により遠距離輸送されると共に、水域に落ちた後もこの気嚢に水が充填されるまではほかの花粉粒子に比べて比重が小さく、沈降しづらいため、水域の中をより長時間・長距離にわたって運ばれることが知られています (松下, 1982; Matsushita and Sanukida, 1986)。これに対して、イネ科やヨモギ属などの草本植物の花粉は風により運ばれるよりも河川水を通じて輸送され、そのほとんどは河口周辺の水域に堆積することが知られています (松下, 1981; Matsushita and

Sanukida, 1986; Traverse, 1994)。このような花粉粒子の形態や花粉放出様式の違いは花粉の輸送・拡散様式の違いとして表れ、花粉群集組成から正確な植生を復元する上での大きな制約条件となります。また、花粉は広域に散布されますので、給源の植生帯から離れれば離れるほどより遠隔地の平均された植生を表すこととなります。Traverse (1988) や山野井 (1993) は大きな堆積盆の中央部ほど岸辺より高地の植生を反映した花粉群集が記録されることを示しました (第2図)。これは岸辺周辺では近辺の樹木から直接供給された花粉粒子が遠方より風に乗ってやってくる花粉粒子よりも多いため近くの植生を表す (言い換えれば局所的な植生を反映する) のに対して、大きな堆積盆の中央部ではほとんどの花粉粒子は風に乗ってやってくるので、むしろ風に花粉を乗せやすい高地の植生が表れると考えられるためです。つまり、海のような広い堆積盆の中の堆積物中の花粉組成は堆積盆周辺を含めたより広い範囲の植生変化を示すことに注意が必要です。例えば日本海の高底堆積物中には、中国内陸部に自生し、日本海周辺には自生しないマオウ属の花粉が認められることがあります。これは、偏西風に乗って飛んできた花粉粒子の典型例です。しかし、西太平洋や日本海の第四紀堆積物中の花粉群集組成の変化は日本列島のそれと基本的に同じであることが報告されています (Heusser and Morley, 1985, 1997; Morley et al., 1986; Heusser, 1989; 池原・大嶋, 1996) ので、広域の植生変化を表す海底堆積物の花粉群集組

成からもある地域の古気候変化を知ることは可能と考えられます。また、このような研究においては、単に花粉群集の組成変化を追跡するだけでなく、単位面積あたりに供給される花粉粒子の量(フラックス)もあわせて解析することが非常に有効です。

また、降水量の増加は土壌の形成をうながします。土壌が形成されると粘土鉱物の水和作用が起こり、粘土鉱物の結晶度が不良となります。日本海海底堆積物中の風成塵起源と考えられるイライトの結晶度は時代と共に変化し、中国内陸部の湿潤化にともなう水和作用の大きさの変化によるものと推定されています(福澤・小泉, 1994)。またこのような土壌化にともなって中国内陸部のレスでは帯磁率や色の変化も認められています(大井ほか, 1997; 鳥居・福岡, 1998)。

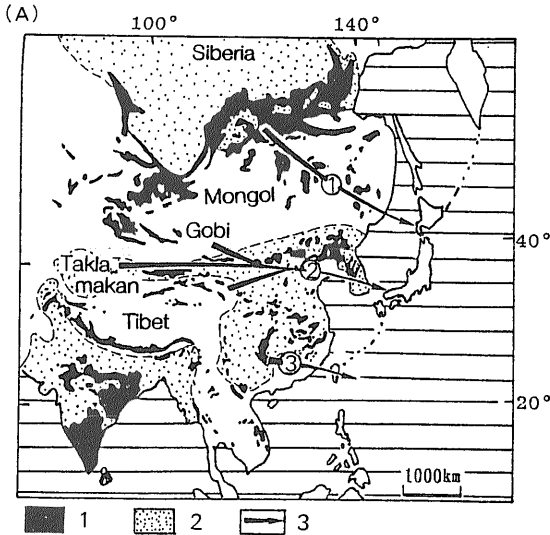
これは直接的な証拠とはなりませんが、降水量が増えて河川からの淡水供給量が増すと、沿岸域に低塩分濃度の水塊が発達しやすくなる可能性があります。このような低塩分濃度の水塊には通常の塩分濃度の水塊とは異なるプランクトンが生息しますので、海底堆積物中の珪藻などの微化石の解析から低塩分濃度水塊の発達を推定することは可能です。このような低塩分濃度の沿岸水の発達は降水量の増加だけによって起こるものではありませんので直接的な証拠とはなりませんが、降水量変化の傍証にはなりえると思います。また、降水量の増加により河川からの粒子供給量が増加すれば、前章で述べたような堆積物の粘土鉱物組成の変化や粒度組成の変化などの基準でその増加を推定することができる場合もあります(Wang *et al.*, 1996)。

4. 酸素同位体ステージ規模の大気起源の粒子輸送量の変動—粒子輸送量変動と海洋環境との関係

大気を通じた粒子の輸送は遠洋性堆積物の形成に大きな役割を果たしていると考えられます(Windom, 1969, 1975; Clayton *et al.*, 1972; Uematsu *et al.*, 1983)。これは北太平洋の中緯度域に顕著のように、遠洋性堆積物の鉱物組成や粒度組成は緯度線にほぼ平行な分布をしていることから推定されています(Windom, 1969, 1975; Clayton *et al.*, 1972)。例えば粒度組成に着目する

と、中国内陸部の砂漠砂の粒径は50–300 μm 、タクラマカン砂漠のワジ堆積物では20–100 μm 、黄土地帯のレスでは10–30 μm 、中国東部・韓国・日本のレス質土壌や現在日本で採取される広域風成塵は3–20 μm 、現在の北太平洋上で採取される風成塵や北太平洋の深海底堆積物の粒径は0.6–10 μm であり、給源から東に向かって粒径は減少し、中央粒径値でみると指数関数的に減少しています(井上・成瀬, 1990)。また、遠洋性粘土の磁性鉱物の特徴(Yamazaki and Ioka, 1997)や有機物組成(Ohkouchi *et al.*, 1997)、化学組成(Weber II *et al.*, 1996)も風成塵の寄与が大きいことを示しています。

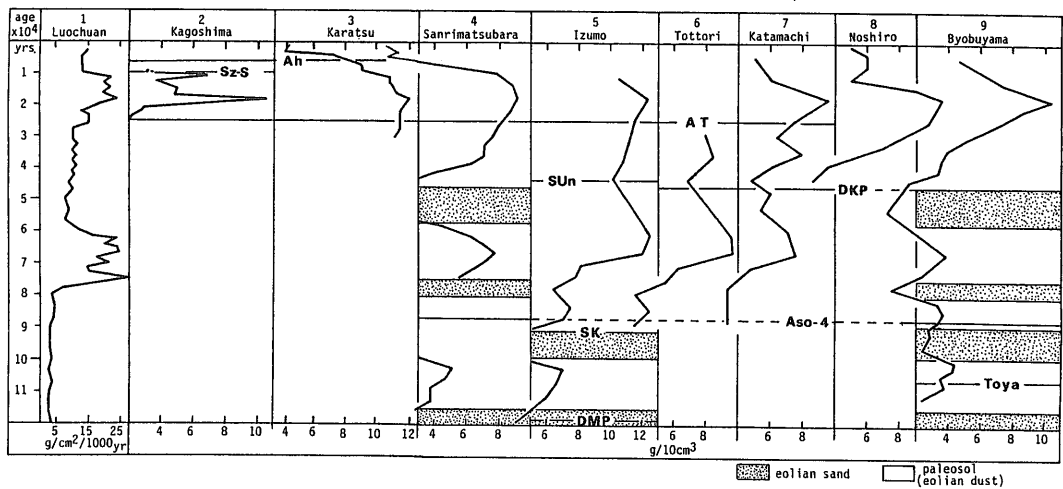
ある場所における風成塵の供給量は供給源の乾湿変動と偏西風の強さの変動、偏西風の位置の変動によって変化します。このような供給源の降水量や偏西風の変動は世界規模の大気循環に関係しています。そしてこの大気循環は酸素同位体ステージ(深海堆積物中の有孔虫の殻の酸素同位体(^{18}O と ^{16}O)の比から温暖期と寒冷期を区分したものの、奇数が温暖期で偶数が寒冷期にあたる)といった地球規模の環境変化に対応して変化しますので、風成塵の海洋への供給パターンも同じ時間スケールで変動したと考えられます。まず、供給源の湿潤化は植生による被覆や土地の土壌化の進行を進め、風に乗る粒子を減少させます。風成塵に含まれる栄養塩類や有用金属元素の供給は海洋表層における一次生産を上げることが期待できますので、大洋では供給源である大陸内部の気候変動に影響された風成塵供給量の変動が海洋環境に大きく関わっていたと考えられます。実際に、北太平洋では風成塵の供給量は氷期に大きくなることが報告されています(Hovan *et al.*, 1991; 岡本ほか, 1996; 川幡ほか, 1997)。また、これに対応するように海洋表層起源の有機炭素の海底への固定も氷期に大きくなったことが分かっています(川幡ほか, 1997)。偏西風の風速の増加は供給源から風に乗る粒子の量を大きくさせます。風速の増加は同時に輸送される粒子の粒径も増加させますが、遠洋域では長距離輸送された結果が表れますのでその差はそう大きくなく、中央粒径値では北西太平洋で3–3.4 μm (Rea and Leinen, 1988)、中部太平洋で2.1–2.5 μm (岡本ほか, 1995)の範囲でほとんど差



第3図

氷期(酸素同位体ステージ2)における日本列島への風成塵の供給ルート(A;成瀬ほか, 1997による)と中国内陸部と日本における風成塵堆積量の時間的変遷(B; Ono and Naruse, 1997による)。(A) 1. 先カンブリア露岩地域, 2. 被覆先カンブリア岩地域, 3. 飛来コース=日本への供給ルートはシベリアから(高緯度コース), 中国内陸部から(中緯度コース), 中国南部から(低緯度コース)の3ルートがある。

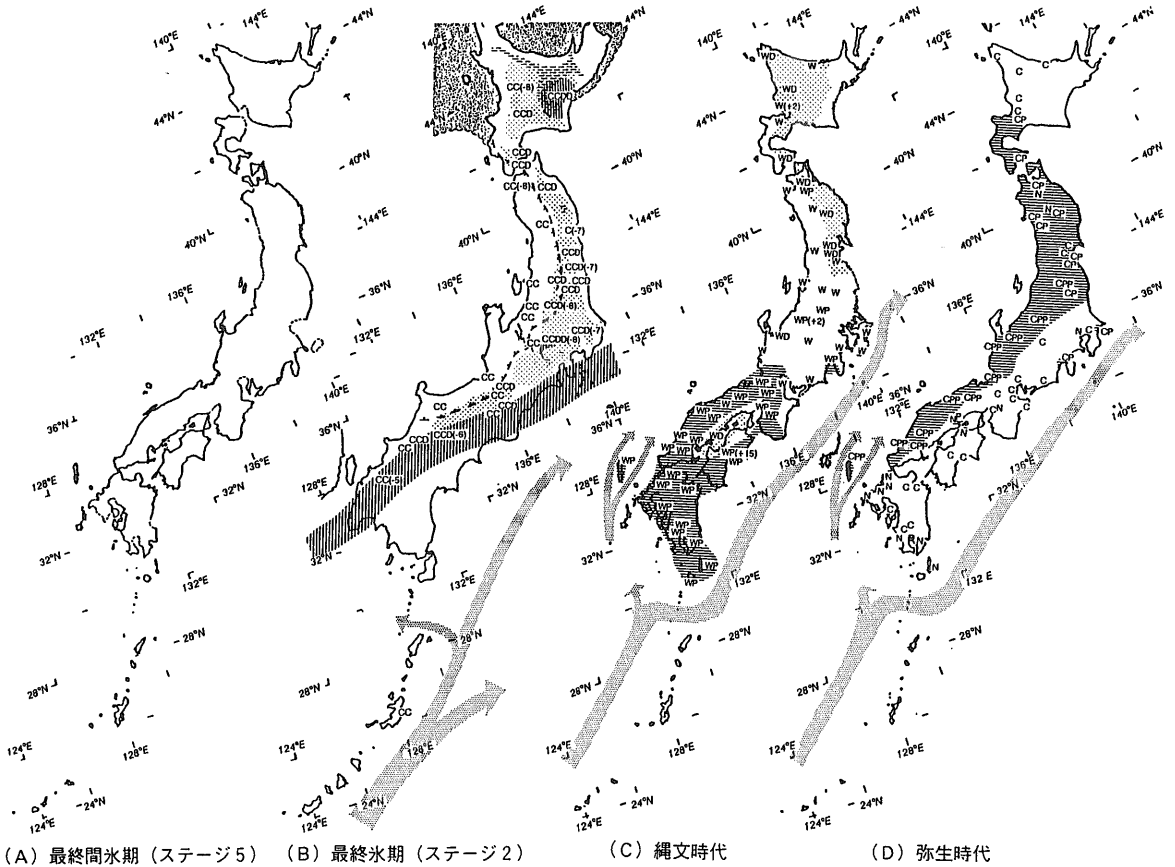
(B)



が認められません。また、風速の増加は海面での攪拌を大きくし、海水の混合を促進させることも期待されます。海水の混合の促進は新しい栄養塩類の表層水への供給を促進させますので、表層での一次生産を増加させる可能性があります。偏西風の軸の位置の変化もまた風成塵の供給量と粒径を変化させます。日本列島などの最終氷期の泥炭層や土壌中の石英粒子のESR強度の測定結果によれば、最終氷期最盛期である酸素同位体ステージ2には風成塵は現在と同様な中国内陸部の黄土地域からのルートのほかにシベリアからと中国大陸南部からのルートの3つの輸送ルートをもっていたことが分かってきました(成瀬ほか, 1996, 1997)。もう一つ前のステージ4の氷期でもこの3つのルート

は認められますが、その境界位置は違っていたようです(第3図; Ono and Naruse, 1997)。このような偏西風の軸の位置の変化はやはり、海洋表層の一次生産にも影響を与えたことが推定されますが、上記の各ルート沿いでの海洋環境変動と偏西風変動との関係はよく分かっていません。

このような風成塵の供給量の変動は沿岸・縁海域の海洋環境にどのような影響を与えたのでしょうか? 日本海の酸素同位体ステージ3~5の分析結果(Irino *et al.*, 1996)は風成塵の供給量が数千年という酸素同位体ステージの時間スケールよりも小さい時間スケールで変動していたことを示しました。そして風成塵供給量の大きかった時期の堆積物は有機炭素含有量の小さい時期に一致していま



第4図 最終氷期最盛期以降の日本列島周辺の環境変化のまとめ(池原, 1997による). (A) 最終間氷期(約12万年前), (B) 最終氷期(約1.8~2万年前) <気候> CCDD; 寒冷・乾燥(網+縦線), CCD; 寒冷・やや乾燥(網), CC; 寒冷・現在と同じもしくは不明(白地), 記号の後の()内の数字は現在との年平均気温の差<氷河ほか>黒塗; 山岳氷河, 横破線; 永久凍土, 縦太線; 極前線(夏期), ケバ; 積雪30cm以上の地域, (C) 縄文時代(約4~6千年前) <気候> WP; 温暖・湿潤(横線), WD; 温暖・やや乾燥(網), W; 温暖・現在と同じもしくは不明(白地), (D) 弥生時代(約2~2.5千年前) <気候> CCP; 冷涼・湿潤(横線), CP; 冷涼・やや湿潤(横線), C; 冷涼(白地), N; 現在と同じ(白地).

した。つまり外洋の場合と逆の関係にあったこととなります。このことは外洋と日本海における海洋表層の一次生産の規制原因が違うことを示唆します。

いずれにせよ、酸素同位体ステージ規模での風成塵の供給量変動は海洋環境、特に外洋域の海洋環境に大きな影響を与えていたと考えられます。

5. 酸素同位体ステージ規模の古気候変動-海水準変動と古気候変動との関係

陸域の古気候が酸素同位体ステージの規模で変動していたことは花粉分析の結果から推定されていました。例えば、琵琶湖の200mボーリング試料の

花粉分析の結果は明瞭な温暖/湿潤気候の繰り返しを示しています(Fuji, 1983)。日本列島でみると、最終氷期最盛期の約1.8~2万年前頃には現在の年平均気温よりも5~8℃程度低い寒冷な気候下にあり、全体としてみれば乾燥もしくはやや乾燥した気候であったと推定されています(安田, 1983)。それでは、海洋古環境や海水準変動はこのような古気候変動とどのように関係していたのでしょうか(第4図)。

安田(1982)は福井県三方湖の湖底堆積物の花粉分析結果と日本海海底堆積物の珪藻分析結果(小泉, 1981, 1985)から、日本海の海洋古環境と陸上古気候との関係を考察しています。これによれ

ば、日本海に対馬暖流が比較的安定に流入していたおよそ4.1～5万年前の間は現在よりも積雪量が多い湿潤で温暖な気候であったものが、流入が間欠的になる4.1万年前から著しい寒暖・乾湿の変動を繰り返した後、およそ3.5万年前の対馬暖流の流入停止に伴って積雪量の少ない寒冷・乾燥気候となったとしました。日本海への暖流表層水の流入は海面から大気への熱と水蒸気の供給を増加させ、結果として日本列島の特に日本海側の気候に大きな影響を与えたと考えられます。最終氷期最盛期を含むおよそ1.5～2.3万年前には海水準低下により外との海水の交換がほとんど停止し、日本海の表層は低塩分濃度の水に覆われました(Oba *et al.*, 1991; 大場ほか, 1995; 池原ほか, 1996)。日本海側の気候は寒冷・乾燥したものと考えられています。この最終氷期最盛期以降の三方湖周辺では1.7万年前くらいからゆっくりと温暖化が始まり、1.5万年前になって温暖化が進むと共に湿潤化の兆しが見えてきます(安田, 1982)。そして冬期の積雪量の増大がはっきりと認められるようになるのは、1.15～1.2万年前以降になります。日本海では海水準上昇に伴っておよそ1.5万年前を境に外洋水の流入が始まり、8千～1万年の間は対馬暖流が一時的に流入し、さらに8千年前頃から対馬暖流の本格的な流入が始まったと考えられています(Oba *et al.*, 1991)。安田(1990)は、「日本列島各地の花粉分析の結果から、およそ8,000年前は温帯の広葉樹種の成育に適した海洋性気候が確立した時代とみられる(安田, 1982)。この時代は、大場ほか(1980, 1984)や小泉(1985)によって、日本海へ対馬暖流が本格的に流入した時代であることが明らかにされている。対馬暖流の日本海への本格的な流入によって、晩氷期に始まった大陸性気候から海洋性気候への移行期は、ここで終了したとみることができる。日本列島の気候変化・植生変遷史のなかで、日本海に対馬暖流が本格的に流入したこの8,000年前はきわめて重要な意味をもっている。」と述べ、日本列島の気候変化における海洋環境の重要性を指摘しています。

日本の南岸を流れる海流である黒潮は低緯度域から中・高緯度域へ熱を輸送する重要な輸送機関となっています。この黒潮の流軸も最終氷期最盛期以降その離岸点が北上してきたことが知られて

います(Chinzei *et al.*, 1987)。安田(1990)は、黒潮の挙動は日本列島の気候の寒・暖変動に強く関係し、このような黒潮の北上は太平洋沿岸の照葉樹林の拡大に大きな影響を及ぼしたとしています。

それではこのような古気候変動は陸源物質の海洋への供給量にどのように影響し、さらに海洋古環境にどのような影響を与えたのでしょうか。東シナ海では最終氷期以降の海洋表層の一次生産量の変動が報告されています。まず、沖縄トラフ南部から採取された柱状試料の分析結果では、現在よりも最終氷期の方が一次生産が高かったことが示されました(Lou and Chen, 1996)。粒度組成や微化石、有機物組成などは最終氷期最盛期頃の沖縄トラフの北縁に沿って揚子江や現在中国南部に河口をもつ河川の影響を強く受けた沿岸水域が発達していたと考えられています(例えば、Wang, 1990)。これに対して、沖縄トラフの中部では有機物の同位体組成から最終氷期でも沿岸水の影響はほとんどなく、現在と同じ黒潮水の影響下にあったとされています(ワヒュディほか, 1995)。沖縄トラフという小さな場所でも陸からの物質供給量の多い沿岸水域では海洋表層の一次生産を増加させましたが、沿岸水の発達が小さかった場所では外洋水の影響下にあり、一次生産はほとんど変わらなかった可能性が高いと考えられます。このように近接した場所でもちょっとした条件の違いで海洋環境が異なるのが沿岸・縁海域の環境変動の一つの特徴と考えられます。ところで、陸源物質の海洋への供給はどの時期がもっとも活発だったのでしょうか？ 残念ながら、まだその詳細はよく分かっていません。しかし、海水準低下期の寒冷・乾燥した気候の下では、岩屑の生産は活発だったと考えられますが、降水量が少なかったためその下流への輸送は大規模には行われなかった可能性があります。海水準が上がってきて気候が湿潤化し、河川流量が増加すると共に岩屑の下流への輸送は活発になったのではないのでしょうか。とすると、気候変動と陸源物質の河川を通じての海洋への供給量の変動はそのフェーズが少しずつれている可能性があります。また、このようなフェーズのずれが生ずるか否かは気候変動の大きさの違いなどにより場所によって違うことも予想されます。多くの沿岸・縁海域の海底堆積物の詳細な検討はこのような問題にも答えを与えて

くれると思われます。

6. より小さい時間スケールでの古気候・古海洋変動

以上は主に数万年スケールの酸素同位体ステージ規模の海洋変動と古気候、陸源物質供給量の変動でしたが、最近ではより小さい数百年～数千年スケールの古気候変動の存在とその重要性が指摘されるようになりました(例えば、多田, 1997, 1998)。このような古気候変動は最初、グリーンランドの氷床コアの分析から指摘されました(Dansgaard *et al.*, 1984; Oeschger *et al.*, 1984)が、最近ではこれとほぼ同様な変動が世界各地の海底堆積物や陸上堆積物でも見つかってきています(例えば、Tada *et al.*, 1995; Behl and Kennett, 1996; Schulz *et al.*, 1996; An and Porter, 1997)。これらの一部は大気循環の一つであるモンスーン変動に関係したものとされ、陸上降水量の変動と関係したものと推定されています(Oppo *et al.*, 1996; Chen *et al.*, 1996)。日本周辺でも日本海でこの時間スケールの現象が捕えられており(Tada *et al.*, 1995)、これは中国内陸部の降水量の変動に関係したものとされています(多田, 1997)。すなわち、中国内陸部の降水量の増加は生物生産力に富む東シナ海陸棚・沿岸水の発達を促し、これが日本海の表層に流入することによって日本海表層の一次生産を高めると共に、海底表層における有機物の分解を弱め、有機物に富む暗色層を形成しました。また、この暗色層形成時期は古気候的には温暖・湿潤な時期に当たっていたと考えられています(池原・大嶋, 1997)。中国内陸部の降水量の増加は、西太平洋の海域からアジア大陸への熱と水蒸気の輸送量に関係していて、より具体的には夏のモンスーン(太平洋亜熱帯高気圧)の強化に関係したものと考えられます。このような夏のモンスーンの強化は日本海へも熱と水蒸気を供給したものであると思われます。しかし、より具体的で広域にわたる古気候と海洋古環境の変遷の詳細についてはまだ分かっていないところが多いのが現状です。西太平洋のより広い範囲における海洋古環境の変遷の詳細と陸上古環境・古気候の変遷との関係をより詳しく検討していく必要があります。このために

は、両者に通用する時間分解能の高い時間目盛りを入れる努力がまずされねばなりません。沿岸～陸よりの外洋域の海底堆積物について高分解能で各種分析、例えば海洋表層の一次生産の指標となる有機物の分析や海成微化石の分析と陸上古気候の指標となる風成塵や花粉化石の分析、を行うことにより、陸と海の情報を同時に得ることが可能な場合もあります。このような情報の蓄積がさらに詳細な陸と海の環境変動の関係を明らかにしてくれるものと期待されます。

7. おわりに

以上簡単に、陸源物質の供給の海洋環境への影響とその変遷について見てきました。結果として、陸源物質の供給は外洋においても沿岸域においても海洋表層の一次生産に関係していたことが分かりました。過去の環境をより詳細に明らかにし、地球規模での環境変動の原因をより正確に理解するためには、個々の地域におけるさまざまな時間スケールの環境変動の詳細を明らかにし、その原因を突き詰めると共に、近接地域の環境変動との相互関係についても考察を進めることが重要です。またここに示した古気候と海洋古環境の関係からも分かるように、大気の変動と海洋の変動とは密接な関係があるようです。両者を見渡して問題を考えないと、地球規模の環境変動の問題は理解できないことは言うまでもないでしょう。

文 献

- An, Z. and Porter, S.C. (1997) : Millennial-scale climatic oscillations during the last interglaciation in central China. *Geology*, 25, 603-606.
- Behl, R.J. and Kennett, J.P. (1996) : Brief interstadial events in the Santa Barbara basin, NE Pacific, during the past 60 kyr. *Nature*, 379, 243-246.
- Broecker, W. (1994) : Massive iceberg discharges as triggers for global climate change. *Nature*, 372, 421-424.
- Chen, M.-T., Wang, C.-H., Huang, C.-Y., Wang, L., Erlenkeuser, H. and Sarnthein, M. (1996) : A late Quaternary planktonic foraminifer faunal record of rapid climatic changes from the South China Sea. *EOS Trans. AGU*, 77 (46), Fall Meet. Suppl., F22.
- Chinzei, K., Fujioka, K., Kitazato, H., Koizumi, I., Oba, T., Oda, M., Okada, H., Sakai, T. and Tanimura, Y. (1987) : Postglacial environmental change of the Pacific Ocean off the coasts of central Japan. *Mar. Micropaleont.*, 11, 273-291.

- Clayton, R.N., Rex, R.W., Syers, J.K. and Jackson, M.L. (1972) : Oxygen isotope abundance in quartz from Pacific pelagic sediments. *J. Geophys. Res.*, 77, 3907-3915.
- Dansgaard, W., Johnsen, S.J., Clausen, H.B., Dahl-Jensen, D., Gundestrup, N.S., Hammer, C.U. and Oeschger, H. (1984) : North Atlantic climate oscillations revealed by deep Greenland ice cores. In: Hansen, J.E. and Takahashi, T. (eds.), *Climate processes and climate sensitivity*. Amer. Geophys. Union, Washington D.C., 288-298.
- Dansgaard, W., Johnsen, S.J., Clausen, H.B., Dahl-Jensen, D., Gundestrup, N.S., Hammer, C.U., Hvidberg, C.S., Steffensen, J.P., Sveinbjornsdottir, A.E., Jouzel, J. and Bond, G. (1993) : Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. *Nature*, 364, 218-220.
- Fuji, N. (1983) : Palynological study of 200-meter core samples from Lake Biwa, central Japan. 1: the palaeovegetational and paleoclimatic changes during the last 600,000 years. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N.S.*, 132, 230-252.
- 福澤仁之・小泉 格 (1994) : 東アジアにおける更新世後期の気候変動を記録した日本海の深海堆積物. *月刊地球*, 16, 678-684.
- 藤澤好博・渡辺友東子・伴かおり・橋本哲夫 (1995) : 石英粒子の天然熱蛍光を利用したテフラ起源と風成塵起源堆積物の識別方法—上北平野、天狗岱面上の中期更新世の段丘堆積物を例として—. *地質雑*, 101, 705-716.
- Heusser, L.E. (1989) : Northeast Asian climatic change over the last 140,000 years inferred from pollen in marine cores taken off the Pacific coast of Japan. In: Leinen, M. and Sarthein, M. (eds.), *Paleoclimatology and Paleometeorology: Modern and Past Patterns of Global Atmospheric Transport*, 665-692.
- Heusser, L.E. and Morley, J.J. (1985) : Pollen and radiolarian records from deep-sea core RC14-103: Climatic reconstructions of Northeast Japan and Northwest Pacific for the last 90,000 years. *Quat. Res.*, 24, 60-72.
- Heusser, L.E. and Morley, J.J. (1997) : Monsoon fluctuations over the past 350 kyr: High-resolution evidence from Northeast Asia/Northwest Pacific climate proxies (marine pollen and radiolarians). *Quat. Sci. Rev.*, 16, 565-581.
- Hovan, S.A., Rea, D.K. and Pisias, N.G. (1991) : Late Pleistocene continental climate and oceanic variability recorded in Northwest Pacific sediments. *Paleoceanogr.*, 6, 349-370.
- 池原 研 (1997) : 日本列島第四紀における環境変遷. オーム社 (編), '98/'99環境年表, オーム社, 214-222.
- 池原 研・片山 肇・中嶋 健 (1996) : 日本海中部—南東部から採取された柱状試料の加速器質量分析法による炭素14年代. *地調月報*, 47, 309-316.
- 池原 研・大嶋秀明 (1996) : 後期第四紀における日本海の堆積速度と海洋古環境、陸上気候との関係. *地球惑星科学関連学会1996年合同大会予稿集*, 714.
- 池原 研・大嶋秀明 (1997) : 日本海堆積物に記録された後期第四紀の短周期気候変動. *地球惑星科学関連学会1997年合同大会予稿集*, 642.
- 井上克弘・成瀬敏郎 (1990) : 日本沿岸の土壌および古土壌中に堆積したアジア大陸起源の広域風成塵. *第四紀研究*, 29, 209-222.
- Irinio, T., Tada, R. and Koizumi, I. (1996) : Millennial-scale variation in aeolian dust (Kosa) contribution to the Japan Sea sediments during the last 200 ky. *EOS Tras. AGU*, 77 (46), Fall Meet. Suppl., F23.
- 川幡徳高・岡本孝則・氏家 宏・伊藤義則・松本英二 (1997) : 北太平洋中緯度域のヘス海影における過去20万年の風送塵の沈積変動と炭素循環に与えた影響. *地質雑*, 103, 475-483.
- 小泉 格 (1981) : 最終氷期以降の日本海コアにおける珪藻遺骸群集の変遷. *日本第四紀学会講演要旨集*, 11, 41-44.
- 小泉 格 (1985) : 日本近海海底の最終氷期堆積物. *月刊地球*, 72, 338-343.
- Lou, J.Y. and Chen, C.T.A. (1996) : A paleoenvironmental record during 7-21 ka BP in the sediments off northeastern Taiwan. *La mer*, 34, 237-245.
- 松下まり子 (1981) : 播磨灘表層堆積物の花粉分析—花粉組成と現世植生の比較—. *第四紀研究*, 20, 89-100.
- 松下まり子 (1982) : 播磨灘表層堆積物の花粉分析—内海域における花粉・胞子の動態—. *第四紀研究*, 21, 15-22.
- Matsushita, M. and Sanukida, S. (1986) : Studies on the characteristic behavior of pollen grains and spores in Lake Hamana on the Pacific coast of central Japan. *The Quat. Res. (Daiyonki-kenkyu)*, 24, 57-61.
- Milliman, J.D., Beardsley, R.C., Yang, Z.-S. and Limeburner, R. (1985) : Modern Huanghe-derived muds on the outer shelf of the East China Sea: Identification and potential transport mechanism. *Cont. Shelf Res.*, 4, 175-188.
- 溝田智俊・井上克弘 (1988) : 風成石英粒子の酸素同位体組成—そのトレーサーとしての意義—. *粘土科学*, 28-2, 38-54.
- Mizota, C. and Matsuhiya, Y. (1985) : Eolian additions to soils and sediments of Japan. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 31, 369-382.
- Morley, J.J., Heusser, L.E. and Sarpou, T. (1986) : Latest Pleistocene and Holocene paleoenvironment of Japan and its marginal sea. *Palaeogeogr. Palaeoclimat. Palaeoecol.*, 53, 349-358.
- 成瀬敏郎・小野有五・平川一臣・岡下松生・池谷元同 (1997) : 電子スピン共鳴 (ESR) による東アジアの風成塵石英の産地同定—アイトープステージ2の卓越風復元への試み—. *地理評*, 70A, 15-27.
- 成瀬敏郎・柳 精司・河野日出夫・池谷元同 (1996) : 電子スピン共鳴 (ESR) による中国・韓国・日本の風成塵起源石英の同定. *第四紀研究*, 35, 25-34.
- 野原昌人・児玉幸雄・土器屋由紀子・大山準一 (1995) : 黄海・東シナ海堆積物の起源: Sr同位体比からの証拠. *地質雑*, 101, 739-742.
- 大場忠道・堀部純男・北里 洋 (1980) : 日本海の2本のコアによる最終氷期以降の古環境解析. *考古学と自然科学*, 13, 31-49.
- Oba, T., Kato, M., Kitazato, H., Koizumi, I., Omura, A., Sakai, T. and Takayama, T. (1991) : Paleoenvironmental changes in the Japan Sea during the last 85,000 years. *Paleoceanogr.*, 5, 499-518.
- 大場忠道・村山雅史・松本英二・中村俊夫 (1995) : 日本海隠岐堆積物の加速器質量分析 (AMS) 法による¹⁴C年代. *第四紀研究*, 34, 289-296.
- 大場忠道・大村明雄・加藤道雄・北里 洋・小泉 格・酒井豊三郎・高山俊昭・溝田智俊 (1984) : 古環境変遷史—KH-79-3, C-3 コアの解析を中心として—. *月刊地球*, 63, 571-574.
- Oeschger, H., Beer, J., Siegenthaler, U., Stauffer, B., Dansgaard, W. and Langway, C.C. (1984) : Late glacial history from ice cores. In: Hansen, J.E. and Takahashi, T. (eds.), *Climate processes and climate sensitivity*, Amer. Geophys. Union, Washington, D.C., 299-306.
- Ohkouchi, N., Kawamura, K., Kawahata, H. and Taira, A. (1997) : Latitudinal distributions of terrestrial biomarkers in the sediments

- from the Central Pacific. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 61, 1911-1918.
- 大井圭一・福澤仁之・岩田修二・鳥居雅之 (1997) : 中国内陸部のレス・古土壌堆積物と日本海深海堆積物の粘土鉱物からみた東アジアにおける過去240万年間のモンスーン・偏西風変動. *地学雑誌*, 106, 249-259.
- 岡本孝則・松本英二・川幡穂高 (1995) : 太平洋中緯度域での風送塵と有機炭素沈積流量の変動. *月刊海洋*, 27, 558-561.
- 岡本孝則・松本英二・川幡穂高 (1996) : 過去15万年間における西太平洋域での広域風送塵の変動. *Proc. Techno-Ocean '96*, 323-327.
- Ono, Y. and Naruse, T. (1997) : Snowline elevation and eolian dust flux in the Japanese islands during isotope stages 2 and 4. *Quat. Intern.*, 37, 45-54.
- Oppo, D.W., Deiner, L., Curry, W.B. and Norris, R.D. (1996) : East Asia monsoon variations: Linkage to northern hemisphere millennial-scale climate oscillations. *EOS Tras. AGU*, 77 (46), Fall Meet. Suppl., F19.
- Oppo, D.W. and Lehman, S.J. (1995) : Suborbital timescale variability of North Atlantic Deep Water during the past 200,000 years. *Paleoceanogr.*, 10, 901-910.
- Rea, D.K. and Leinen, M. (1988) : Asian aridity and the zonal westerlies: Late Pleistocene and Holocene record of eolian deposition in the Northwest Pacific Ocean. *Palaeogeogr. Palaeoclimat. Palaeoecol.*, 66, 1-8.
- 斎藤文紀・池原 研・片山 肇・松本英二・楊 作升 (1994) : 東シナ海陸棚堆積物に記録された黄河の河道変遷と人為的影響. *地質ニュース*, no.476, 8-16.
- 斎藤文紀・楊 作升 (1994) : 黄河: 河川流量, 浮遊堆積物運搬量と堆積物収支. *堆積学研究*, 40, 7-17.
- Schulz, H., Berner, U., Cowie, G., den Dulk, M. and Erlenkenser, H. (1996) : Dansgaard-Oeschger and Heinrich events recorded in the oxygen-minimum zone off Pakistan (Arabian Sea) : A view from the tropical latitude. *EOS Tras. AGU*, 77 (46), Fall Meet. Suppl., F297.
- Stein, R. (1991) : Accumulation of organic carbon in marine sediments. *Lecture Notes in Earth Sci.*, 34, Springer-Verlag, Berlin, 217p.
- 多田隆治 (1997) : ダンスガード・サイクル, 突然かつ急激な気候変動と日本海海洋変動. *科学*, 67, 597-605.
- 多田隆治 (1998) : 数百年～数千年スケールの急激な気候変動 - Dansgaard-Oeschger Cycle に対する地球システムの応答 -. *地学雑誌*, 107, (印刷中).
- Tada, R., Irino, T. and Koizumi, I. (1995) : Possible Dansgaard-Oeschger oscillation signal recorded in the Japan Sea sediments. In: Tsunogai, S. et al. (eds.), *Global Fluxes of Carbon and Its Related Substances in the Coastal Sea-Ocean-Atmosphere System*, M&J International, 517-522.
- 鳥居雅之・福岡浩司 (1998) : 黄土層の初磁化率: レビュー. 第四紀研究, 37, 33-45.
- Traverse, A. (1988) : *Paleopalynology*. Unwin & Hyman, London.
- Traverse, A. (1994) : Sedimentation of land-derived palynomorphs in the Trinity-Galveston Bay area, Texas. In: Traverse, A. (ed.), *Sedimentation of Organic Particles*, Cambridge Univ. Press, New York, 69-102.
- 塚田松雄 (1974) : 古生態学II-応用論-. 共立出版, 231p.
- 塚田松雄 (1980) : 杉の歴史: 過去一万五千年間. *科学*, 50, 538-546.
- Uematsu, M., Duce, R.A., Prospero, J.M., Chen, L., Merrill, J.T. and McDonald, R.L. (1983) : Transport of mineral aerosol from Asia over the North Pacific ocean. *J. Geophys. Res.*, 88, 5343-5352.
- ワヒュデイ・南川雅男・大場忠道 (1995) : 沖縄トラフ及び琉球海溝斜面の2本のコアの安定同位体解析. *日本地球化学会年會講演要旨集1995*, 3-4.
- Wang, L., Pflaumann, U., Sarnthein, M., Grootes, P., Erlenkeuser, H., Jian, Z., Wang, P., Pelejero, C. and Grimalt, J. (1996) : Monsoon climatic change during the last 400,000 years: High-resolution sediment records in the South China Sea. *EOS Tras. AGU*, 77 (46), Fall Meet. Suppl., F22.
- Wang, P. (1990) : The ice-age China sea-research results and problems. In: Wang, P., Lao, Q. and He, Q. (eds.), *Proc. 1st Intern. Conf. Asian Marine Geol.*, China Ocean Press, Beijing, 181-197.
- Weber II, E.T., Owen, R.M., Dickens, G.R., Halliday, A.N., Jones, C.E. and Rea, D.K. (1996) : Quantitative resolution of eolian continental crustal material and volcanic detritus in North Pacific surface sediment. *Paleoceanogr.*, 11, 115-127.
- Windom, H.L. (1969) : Eolian contributions to marine sediments. *J. Sed. Petrol.*, 45, 520-529.
- Windom, H.L. (1975) : Atmospheric dust records in permanent snowfields: Implications to marine sedimentation. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 80, 761-782.
- 山野井徹 (1993) : 花粉化石が示す古気温. *化石*, 54, 53-60.
- Yamazaki, T. and Ioka, N. (1997) : Environmental rock-magnetism of pelagic clay: Implications for Asian eolian input to the North Pacific since the Pliocene. *Paleoceanogr.*, 12, 111-124.
- Yanagi, T. and Inoue, K. (1995) : A numerical experiment on the sedimentation processes in the Yellow Sea and the East China Sea. *J. Oceanogr.*, 51, 537-552.
- 安田喜憲 (1982) : 福井県三方湖の泥土の花粉分析的研究-最終氷期以降の日本海側の乾・湿の変動を中心として. 第四紀研究, 21, 255-271.
- 安田喜憲 (1983) : 堆積物の各種分析からみた最終氷期以降の気候変動. *気象研究ノート*, 147, 47-60.
- 安田喜憲 (1990) : 気候と文明の盛衰. 朝倉書店, 358p.

IKEHARA Ken (1998) : Significance of terrigenous material supply to the coastal seas and oceans for marine paleoenvironmental change.

< 受付: 1998年6月26日 >