

太平洋西岸、偏西風帯における風成塵と古風系

鈴木 宏

1. はじめに

東アジアやニュージーランドの風土や文化は、この地域に卓越する風の影響を少なからず受けている。換言すれば偏西風とモンスーンこそが、日本やニュージーランドの農業を支え、森林に育まれた文化を発展させてきたとも言えるだろう。

今日、地球全体の自然環境の危機がいろいろなところで叫ばれている。なかでも酸性雨や砂漠化といった問題は国境を越えて拡大しており、その対策が急がれている。例えば、酸性雨の原因物質である硫黄酸化物や窒素酸化物は、偏西風などによって国境を越えて拡散している。硫黄を多く含む石炭の消費量が多く、大気汚染抑制策の進んでいない中国からの酸化物に汚染された高い濃度の酸性雨が、山陰や北陸地方などを中心とする西南日本各地に降っていることが広く知られている。これらの問題も風系、すなわち大気の循環運動と密接なかかわりをもっている。

このような地球環境問題を考えていく上で、地球が繰り返してきた大規模な環境変動を高精度で検出することは、環境変動の周期性と変動幅を検討する上で欠かせない役割を担っているといえる。本研究では、最終氷期における偏西風の復元を軸に、太平洋西岸地域における古環境の復元を試み、これによって自然環境の変動を考える上での重要な鍵を提供しようとするものである。

2. 研究の目的

海底・湖底コアなどに含まれる花粉などの分析によって、古環境を高精度で復元する取り組みが各分野の研究者によって行われている。それらによると、從来から緩やかに変動すると考えられてきた気候環境は、数十年～数年という短い期間のうちに急激に変動を繰り返していることがわかってきている。

しかし、花粉などに代表される動植物の変化は長い時間を要し、これを使った高精度な気候変動復元が困難であるのに対し、風成塵はこうした急激な気候変動の指示者として期待され、古風系をはじめとする気候変動の解明に関する役割が期待されている。

最終氷期は寒冷であるとともに太平洋西岸地域では乾燥した気候に支配された時代であった。このため、最終氷期には中央アジアやオーストラリアの乾燥地域では砂漠レスの供給が増加し、日本列島や台湾、ニュージーランドなどへ大量の風成塵が運ばれたとされる（成瀬ほか, 1997 ; Hesse, 1994）。

こうした風成塵を運ぶのは大陸から吹き出す冬のモンスーンと、上空を吹く強いジェット気流である。微細な粒径の風成塵は上空の強いジェット気流に乗って数千キロ以上も吹送されることもあり（Uematsu *et al.*, 1983 ; Middleton, 1997）、中国奥地の乾燥地帯からアラスカやハワイなどにも到達している。

日本列島では本州中部以北に中国北部やシベリアに起源をもつ微細石英が分布しているので、最終氷期最寒冷期には冬の北西モンスーンが強まつたこと、一方、沖縄から本州中部にかけてはアジア内陸部の砂漠やチベット高原から運ばれた微細石英が分布しているので、偏西風の影響下にあったことなどが明らかになっている（成瀬ほか, 1996）。したがつ

て風成塵の給源や分布、量などを分析することによって、過去におけるモンスーンや偏西風の挙動をグローバルに検討することが可能になるのである。

これを受けて本研究においては、今まで研究が行われていない南西諸島南部と台湾、およびニュージーランドの風成塵を分析することによって、最終氷期（MIS 2）の太平洋西岸における偏西風の挙動を明らかにすることを目的とした。

3. 風成塵に関するこれまでの研究

わが国におけるレス状の堆積物の存在を初めて科学的に検証した研究は倉林（1972）による大山山麓における研究である。倉林は大山火山灰層および中国のレスに含まれる粘土鉱物をX線回折によって分析し、両者の類似性から火山灰層への風成塵混入の可能性を指摘した。

1980年代に入ると、粘土鉱物の化学的組成や粒度組成を分析することによって、土壤中の微細物質の特徴とその供給源などが検討されるようになった。例えば成瀬・井上（1982）は、日本海沿岸地域に発達する砂丘中の古土壤のシルト・粘土サイズの鉱物に、黄砂や黄土の主要な粘土鉱物であるイライトが多いことなどから、これらの微細鉱物がアジア大陸からもたらされた広域風成塵であることを明らかにした。

また、石英が結晶する時の温度環境を反映する酸素同位体比を検討することによって、風成塵の供給源を検討する研究も行われるようになった（例えば Naruse *et al.*, 1986；溝田ほか, 1992；成瀬・井上, 1990など）。これらによると、日本各地の土壤に含まれる微細石英には、花崗岩や火山灰起源の石英とは異なる酸素同位体比を持つものが多く見られ、最終氷期以降に風成塵として飛来して土壤の母材になった石英が少なくないことが示唆されている。

一方、土壤中への風成塵の堆積量を時間軸を用いて検討する方法も行われている。それによると最終氷期の dust flux は今日の約3倍に達し、風成塵が土壤生成物質として重要な役割を果たしていたことが明らかにされている（Inoue and Naruse, 1991；成瀬, 1993）。

ところで、1990年に始まった IGBP（国際地球圏生物圏共同研究計画）では、地球環境の変化を生物圏と地球圏の相互作用に着目して探ろうとするものであり、その一環として古環境の変遷を研究するプロジェクトである PAGES が推進されている。このプロジェクトではアジアモンスーンを高精度に復元する取り組みなどが推進され、風成塵を用いて古風系の復元を試みようという取り組みが行われるようになった。こうしたプロジェクトのひとつに風成塵の供給源を特定して古風系を復元しようという電子スピン共鳴（ESR）法がある。

ESR分析は広域風成塵の主要な鉱物である微細石英の生年年代を検討し、それによって風成塵の供給源を特定しようとする方法である。この分析法では石英結晶中の酸素空格子が自然放射線によって増加する割合が、経過する時間の関数としてとらえられることを利用している。先カンブリア代の古い地質の岩石はわが国には分布していないことから、風成塵中の石英のESR値がそうした時代を示唆する値であれば、これらがモンゴル高原やシベリアなどから供給されたものと考えることができる。また、風成塵の堆積した時代による値の変化を見ることによって、風系の変動を検討することも可能である。

この原理を応用して成瀬ほか（1996；1997）、成瀬・小野（1997）、および鈴木ほか（1997）は、わが国に分布する土壤中にはアジア大陸や氷期に陸化した大陸棚などを供給源とした風成塵が広く分布することを確認し、さらに最終氷期のモンスーンや偏西風の復元を試みている。

今日ではこのように、単に土壤中の風成塵を検出するだけではなく、風成塵を気候変動の指示者としてとらえ、古環境を復元しようという研究が中心に据えられるようになって

きている。

近年、日本各地に風成塵起源の堆積物が分布していることが明らかになって来ており、その供給源と堆積量の変動を究明することが東アジアにおける古環境の復元に役立つこともわかってきた（成瀬・小野、1997）。このため、日本における風成塵の研究は一層注目を集めしており、より高い精度で堆積量の変動や分布の変動を検討し、これをもたらした気候変動との関係を究明することが求められている。

一方、Hesse (1994) はタスマニア海の海底コア中に含まれる風成塵起源の石英含有率を分析し、間氷期において南緯 36° まで南下した風成塵の帯 (dust plume) は、氷河期には南緯 30° 付近まで速やかに北上したとの見解を示している。

しかしながら、ニュージーランド各地に見られるレスについては、ほとんどの研究が氷河の末端や河床で生産された微細物質（例えば Cowie, 1964; Milne and Smalley, 1979; Eden *et al.*, 1979; McIntosh *et al.*, 1988）や、火山灰起源の細粒物質（Stewart *et al.*, 1986 など）が供給源であるとしており、大陸からの風成塵の影響についての研究は見られない。

4. 研究方法

(1) 試料採取

本研究で分析した試料は、国内では青森県六ヶ所村・島根県大根島大塚山・鹿児島市大迫町・種子島長谷台地・宮古島高野・西表島浦内川河口の 6ヶ所で採取した。また、台湾では林口台地・后里・龍洞・閔山・ガランピーの 6ヶ所、ニュージーランド北島では Kaipara・Makino・Tokomaru・Waituna West の 4ヶ所、南島では Akaroa・Balclutha・Te Anau の 3ヶ所で採取した。試料は指標テフラなどを鍵層として、おおむね MIS 2 に相当する地層断面から採取したが、林口と Makino では MIS 3 より古い時代の試料を分析した。

分析に供した各サンプルのうち、台湾の閔山、ガランピー（レーダーサイト）は、露頭断面より一定間隔で採取した。このうち各 5サンプルを採土管で採取して乾燥重量を測定した。

(2) 粒度分析

ESR 分析（後述）に供試した全てのサンプルと、台湾で採取したサンプルのうち、ガランピー（レーダーサイト）、閔山、后里 2 の 3 地点の土壤断面から得られた試料について粒度分析を行った。

分析の手順は、まず風乾した適量の各試料を乳鉢で軽く粉碎し、超音波処理 (150W, 10kc/p, 5 分) をした後に、 $1000\text{ }\mu\text{m}$ の水篩で水洗して未分解の有機物や植物片を除去した。さらに過酸化水素水を加えて約 1 週間放置して有機物を分解した後、浮遊する有機物を取り除いた上でうわすみ液を除去して水洗いし、その後に 0.2% のカルゴン液を分散液として加え、超音波処理を行った。

以上の処理を行った試料を 710, 500, 355, 250, 177, 125, 88, 63, 45, 32 μm の水篩で粒度別に篩い分けたのち、乾燥して秤量した。また、32 μm 未満の試料については、島津製作所製の粒度分析器 SA-CP21 により分析した。

(3) X線回折

ESR 分析による酸素空格子信号量は、試料中の石英含有率で補正されるため（柳、1995）、ESR 分析に供試したサンプル中の石英の積分強度を X 線回折によって測定した。この際、現地性の石英と考えられる粗粒の画分 ($45\text{ }\mu\text{m} <$ 、もしくは $63\text{ }\mu\text{m} <$)、および、風成塵起源と想定される微細画分 ($20\text{ }\mu\text{m} >$ 、もしくは $26\text{ }\mu\text{m} >$) とに分類して X 線を照射した。

なお、このデータは微細石英の堆積量算出にも用いた。

X線回折装置は、兵庫教育大学地学教室の島津製作所XD-5型 (30kv, 20mA, CuK α 線) を使用して、step scan (28-25 θ , preset time 4.0s., scan speed 0.01deg., sampling pitch 0.01deg., full scale 0.3kcps) を行い、積分強度から石英含有率を算出した。なお、積分強度の standard として、和光純薬工業株式会社製の石英粒 (20~28mesh) を使用した。

(4) ESR分析(電子スピン共鳴法)

土壤中に含まれる石英の生成年代を調べ、その供給源を検討するためにESR分析を行った。分析に供した試料はX線回折に使用したものと同じ処理を行った後に、大阪大学理学部宇宙地球科学研究科量子地球物理学研究室においてESR分析を行い、酸素空格子信号量を測定した。

ESR分析では試料の事前処理として石英を含む無機物試料に ^{60}Co を用いて γ 線を照射したのち、300°Cで15分間加熱する。これらの処理によって石英は結晶中の酸素イオンの抜けた空格子に電子1個が獲得された格子欠陥である「E'中心」に変換され、この状態で酸素空格子信号量が測定される。

本研究では大阪大学理学部宇宙地球科学研究科の Joel Jes-REIX ELECTROMAGNET, ESR SPECUTRO-METER (microwave output : 0.01mW, magnetic field modulation width : 0.1mT, magnetic center field : 335mT, sweep width : $\pm 5\text{mT}$) で酸素空格子信号量を測定した。なお、45 μm 以上の粒径（一部の試料については63 μm 以上）の土壤物質を現地性のものと仮定し、風成塵起源と考えられる20 μm 未満の微細物質との比較も行った。

ESR分析に用いる無機物試料は、重液分離によって石英を分離しておくことが望ましいが、風成塵のような微細粒子では重液分離が困難である。このため、X線回折によって求めた石英比率をもとに、柳（1995）による以下の補正法を適用して酸素空格子信号量を補正した。

ESR補正值 ($2.51\text{e}+13 \text{ vacancies/g}$)

$$= \text{酸素空格子信号強度 (raw data)} \times 100 \div \text{石英含有率 (\%)}$$

なお、これまでに得られたESR値と地質との関係は以下の通りである。

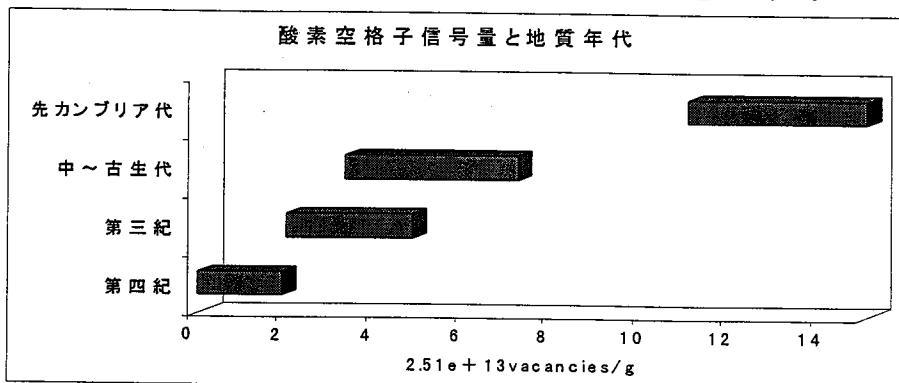


図1 ESR信号量と地質年代

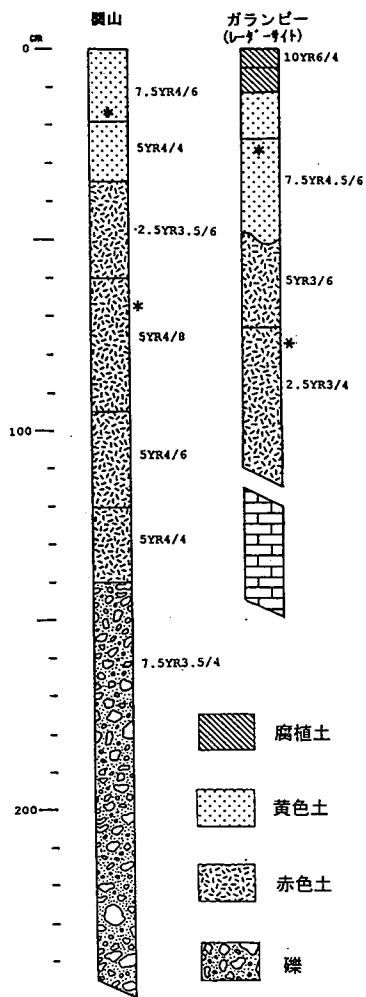
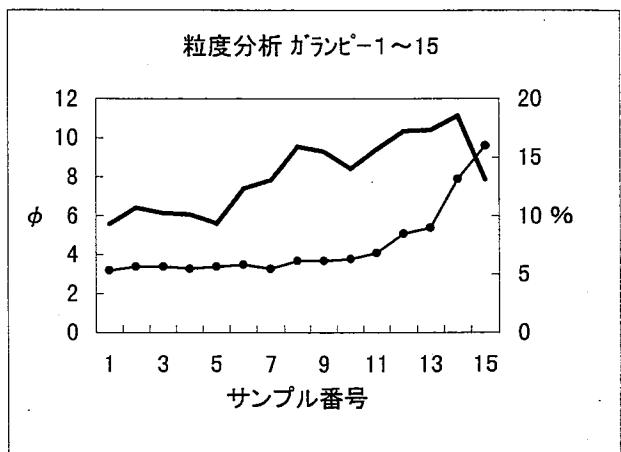
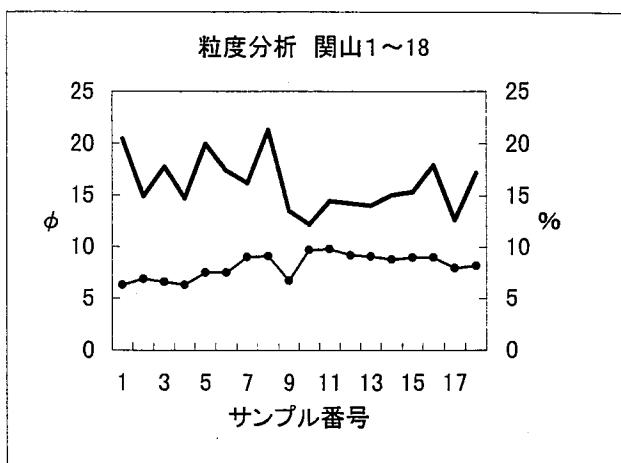
関山1~18

番号	土色	備考	中央粒径	最多粒径	20<	シト画分	2>	乾燥密度
1			6.3	63	47.53	20.48	31.99	
2	7.5YR4/6		6.9	85	44.22	14.88	40.90	1.5196
3			6.6	63	45.35	17.72	36.93	1.4358
4			6.3	30	49.83	14.67	35.50	
5	5YR4/4		7.5	1	40.80	19.96	39.24	1.6804
6			7.5	30	40.65	17.33	42.02	
7			9.0	1	33.75	16.17	50.08	
8	2.5YR3.5/6		9.1	1	28.28	21.33	50.39	1.5449
9		赤色土	6.7	45	49.81	13.47	36.72	
10			9.7	1	30.87	12.18	56.95	
11	5YR4/8		9.8	63	30.43	14.43	55.14	
12			9.2	1	34.54	14.22	51.24	
13			9.1	85	35.95	14.02	50.03	
14			8.8	1	36.70	15.07	48.23	
15	5YR4/6		9.0	1	34.60	15.36	50.04	
16			9.0	1	35.33	17.98	46.69	
17	5YR4/4		8.0	85	42.58	12.68	44.74	
18			8.2	85	38.04	17.23	44.73	

ガランピ-1~15

番号	土色	備考	中央粒径	最多粒径	20<	シト画分	2>	乾燥密度
1	10YR6/4		3.2	250	74.04	9.29	16.67	
2	7.5YR5.5/4		3.4	250	66.88	10.69	22.43	
3	7.5YR5/4		3.4	250	66.29	10.22	23.49	
4			3.3	250	68.92	10.12	20.96	
5	7.5YR4.5/6		3.4	250	65.83	9.34	24.83	
6			3.5	250	63.00	12.33	24.67	
7			3.3	250	66.87	13.02	20.11	1.5917
8			3.7	250	59.62	15.90	24.48	
9			3.7	250	60.60	15.49	23.91	
10	5YR3/6		3.8	250	62.45	14.03	23.52	
11			4.1	250	56.22	15.68	28.10	1.5025
12			5.1	250	52.75	17.22	30.03	
13	2.5YR3/4	0.5mm小砾	5.4	250	50.65	17.32	32.03	
14		柱状節理	7.9	250	54.70	18.55	26.75	1.5440
15			9.6	250	38.69	13.14	48.17	
			Φ	μm				g/cm ³

表1 関山・ガランピ-の粒度分析結果



関山		
番号	中央粒径	シルト画分
1	6.3	20.48
2	6.9	14.88
3	6.6	17.72
4	6.3	14.67
5	7.5	19.96
6	7.5	17.33
7	9	16.17
8	9.1	21.33
9	6.7	13.47
10	9.7	12.18
11	9.8	14.43
12	9.2	14.22
13	9.1	14.02
14	8.8	15.07
15	9	15.36
16	9	17.98
17	8	12.68
18	8.2	17.23

ガランピー		
番号	中央粒径	シルト画分
1	3.2	9.29
2	3.4	10.69
3	3.4	10.22
4	3.3	10.12
5	3.4	9.34
6	3.5	12.33
7	3.3	13.02
8	3.7	15.90
9	3.7	15.49
10	3.8	14.03
11	4.1	15.68
12	5.1	17.22
13	5.4	17.32
14	7.9	18.55
15	9.6	13.14

図2 関山とガランピーにおける中央粒径とシルト画分の変動

5. 分析結果

(1) 関山の粒度組成と古環境

関山 1～18 の試料を採取した地点は海成段丘上に位置し、最終間氷期に対比される恒春石灰岩上に貝やサンゴの破片を含むラグーン堆積物と、その上に厚さ 140 cm の赤黄色土が堆積している。したがって、この赤黄色土は最終氷期以降に堆積したものである。

関山では、中央粒径に大きな変動が認められる。それは関山 18 から関山 10 までは中央粒径が細粒で (8.0 φ～9.2 φ) あるが、関山 9 で粗粒化 (中央粒径 6.7 φ) し、砂画分も 50% に達する (表 1・図 2)。

上述のように関山は段丘上に位置しており、付近から流れ込む河川堆積の直接の影響を受けないことから、この変化は風成堆積環境変動を示していると考えられる。すなわち、関山 9 以降は環境の変動幅が大きくなり、風成堆積物の量が増減を繰り返すような気候変動があったことが推測できる。

例えば、関山 9 の堆積した時代に粗粒物質の供給量が増えるが、関山 8 および 7 は一転して中央粒径が 9 φを超えて細粒化し、粘土画分も多くなっている。しかし関山 6 よりも上では再び粗粒化 (7 φ未満) し、関山 4 では砂画分が顕著に増えている。このことから関山 9 および関山 4 の時期には気候が寒冷化して風が強くなり、砂サイズ物質の堆積量が増えたのであろう。また、関山 9 以前と関山 8～5 の時期には気候が比較的温暖であったことが考えられ、それぞれを MIS 4, 2, 3 に対比可能である。

また、関山 3～2 ではやや細粒化の傾向が見られることから、MIS 2 に対比される寒冷期後の温暖湿潤化を反映しているものと考えられる。関山 1 では再び粗粒画分が増加するが、この試料については地表面の改変の影響を受けている可能性もあり、古環境を反映しているかどうかは即断できない。

(2) ガランピーの粒度組成と古環境

ガランピーの試料は関山と同じ時代に対比される段丘面に位置している。試料は恒春石灰岩の上にのる厚さ約 2 m の赤褐色土壤層から採取した。したがってこの土壤断面もやはり最終氷期以降の環境変遷を記録している可能性がある。

中央粒径は土壤断面最下部 RADAR15 では 9.6 φであるが、最上部では 3.2 φとなっており、下から上に向かって粗粒化している。一方、砂サイズの含有率は中央粒径の変化と呼応するように上部の試料ほど高い比率を示している。特に RADAR14 では約 54% と急激に砂画分が増え、粘土画分が少し減っている (表 1・図 2)。

のことから、RADAR1 堆積時には最終間氷期が終了し、かわって寒冷化が始まり、風成砂の供給量が増えたものと考えられる。なおこの推測を裏付けるように、ガランピー付近には東よりの風によって形成された古砂丘および現生砂丘が発達しており、現在もなお段丘上に風成砂が堆積している。

(3) E S R 分析からみた風成塵の供給源

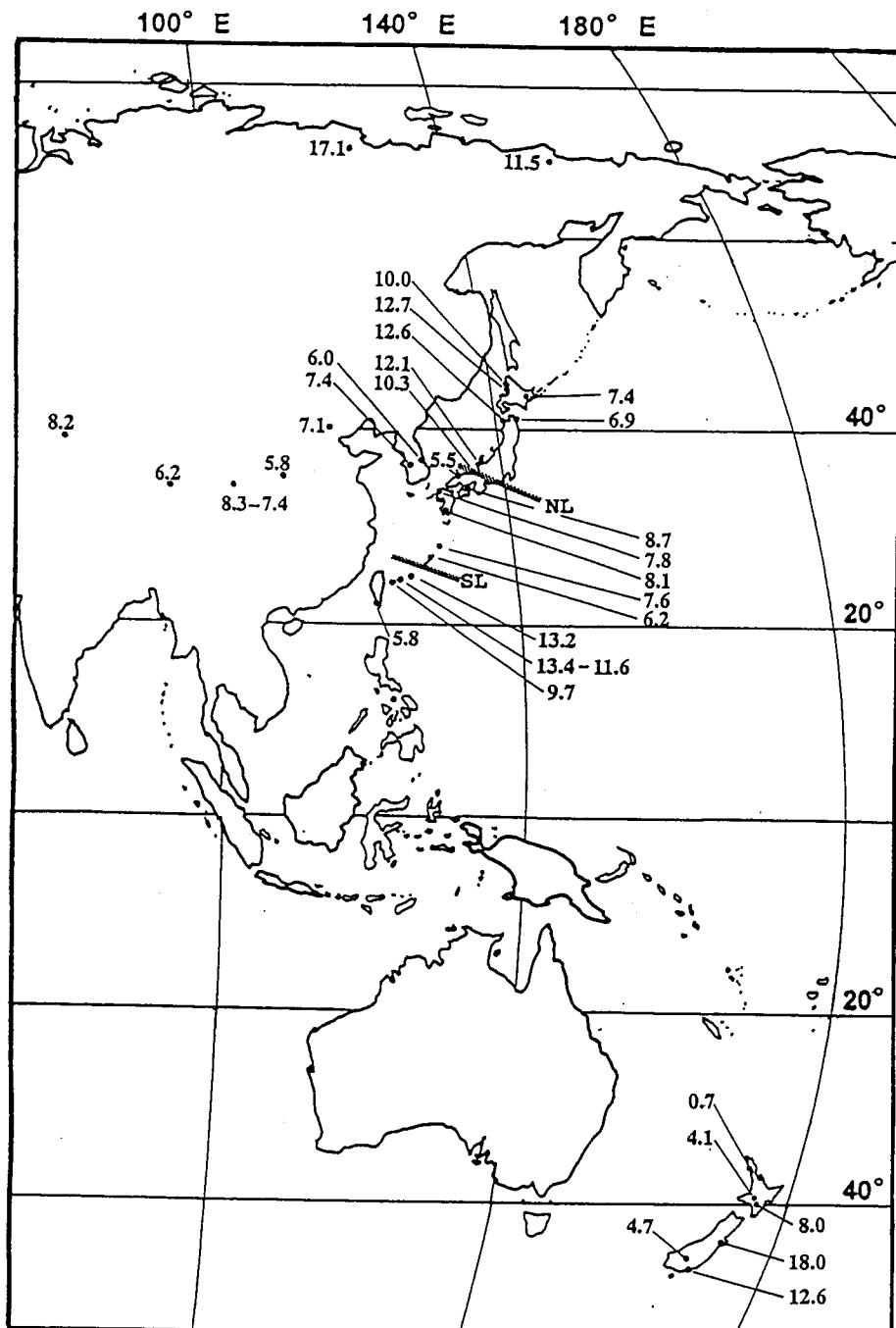
日本・台湾・ニュージーランドの風成塵の E S R 分析による結果を以下のようにまとめることができよう (図 3)。

① 最終氷期最盛期に日本列島に飛来した風成塵は、大きく 3 つのグループに分けられる。

I 本州中部以北には E S R 値がおおむね 12.0 以上の風成塵が分布する。

これらの風成塵は、シベリアやモンゴル高原に広がる先カンブリア紀岩石の露出地帯から飛来したものである。

II 本州中部～沖縄本島までは、中国黄土高原のレスと同じような E S R 値を示す土壤が多い。これらの地域には今日の黄砂現象と同じような dust 現象が頻繁に発生し、



ESR signal intensities of eolian dust quartz in MIS 2
 $(2.51e + 13 \text{ vacancies/g})$

図3 太平洋西岸におけるMIS 2の風成塵のESR信号強度

NL：北西モンスーンの影響範囲の南限

SL：冬季亜熱帯偏西風ジェットの影響範囲の北限

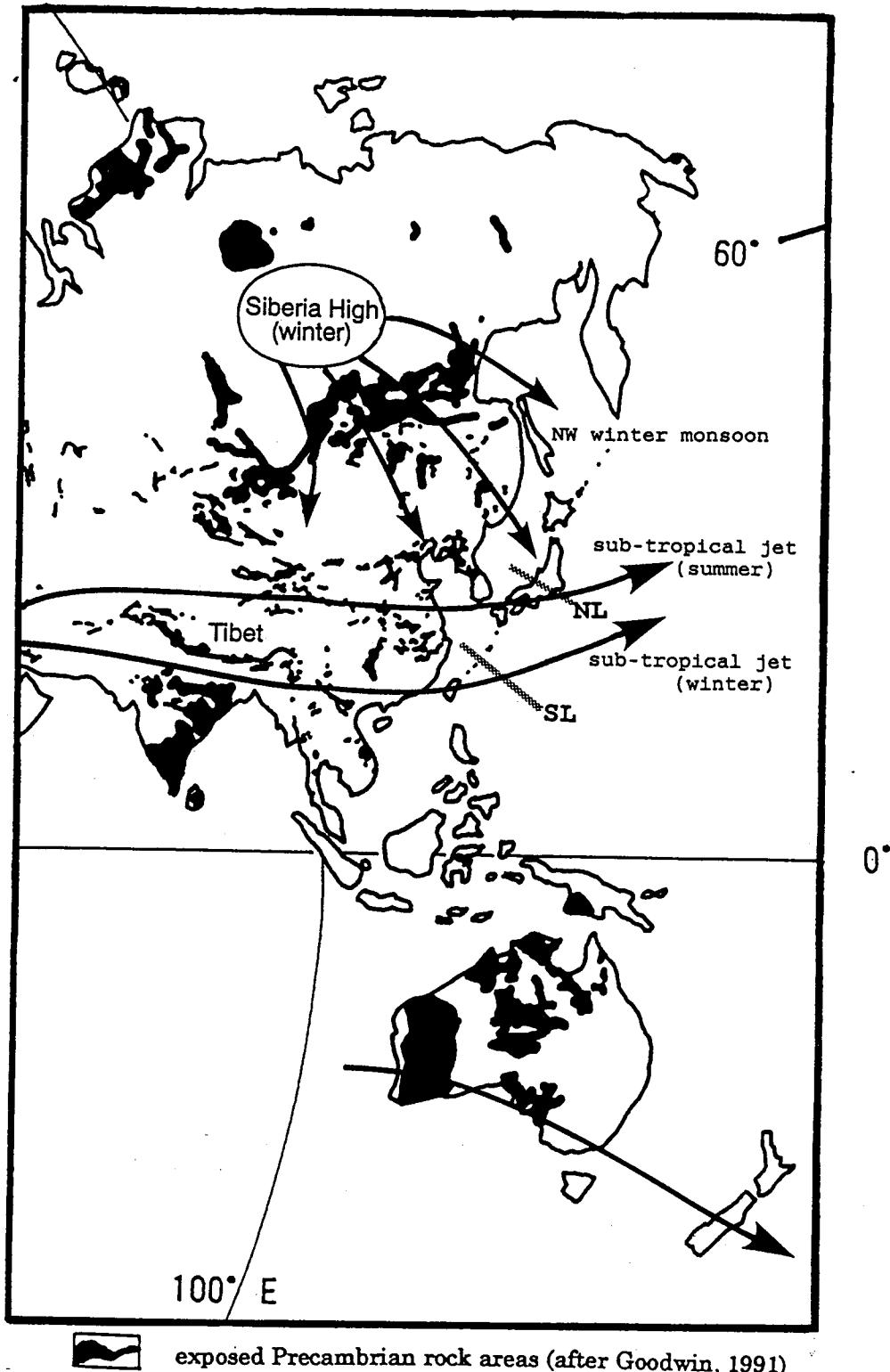


図4 太平洋西岸におけるMIS 2の古風系

中国内陸部の乾燥地域から風成塵が供給されていたものと考えられる。

Ⅲ 琉球列島南部の土壤はESR値がおおむね10.0以上の微細石英を含む。

この地域の風成塵は中国南部や南アジアからの物質が含まれている可能性がある。

②台湾の風成塵は氷期に干上がった大陸棚や氾濫原などを給源とするmiddle rangeの石英の影響を強く受けている。

③ニュージーランドのレスのうち、北島の南端から南島にかけてオーストラリアを給源とする風成塵が多く混入している。

6.まとめ

以上のことから、太平洋西岸における最終氷期最盛期(MIS 2)の風成塵の供給源と風系は以下のように整理される(図4)。

1. 太平洋西岸において最終氷期には気候が寒冷・乾燥化してモンスーンや偏西風が強まり、風成塵の供給・運搬量が増加した。南半球においても同様の現象が起こった。
2. 本州中部以北の地域では、冬季にシベリア高気圧から吹き出す北西モンスーンが強まり、polar jetの位置も南下していた。
本州中部から沖縄本島までは北西モンスーンよりも偏西風の影響を受けるようになり、北方アジアや中央アジアから多量の風成塵が日本列島に運び込まれた。
3. 南西諸島南部には冬季に亜熱帯偏西風ジェットによって、アジア大陸南部の先カンブリア岩地域から風成塵が運ばれ、堆積した。
台湾では標高3000mを越す台湾山脈から流れ出す多量の物質が表層土壤に混入するため、土壤母材を占める広域風成塵の割合は希薄である。
4. オセアニアの偏西風帯はMIS 2に北上し、その強風軸はオーストラリア南部からニュージーランド中部にかけてのびていた。
これまでニュージーランドレスは、ニュージーランドアルプス氷河起源のものがほとんどであると考えられてきたが、本研究によってオーストラリアを給源とする風成塵の存在を指摘することができた。

文献

- Cowie, J. D. (1964) : Loess in the Manawatu district, New Zealand.
New Zealand Journal of Geology and Geophysics, 7, 389-396.
- Eden, D. N., McIntosh, P. D. and Reynolds, J. (1987) : Sources of loess
in the Kaiware-Mimihau district, Southland, New Zealand. *New Zealand
Journal of Geology and Geophysics*, 30, 307-316.
- Goodwin, A. M. (1991) : *Precambrian Geology*. Academic Press, London, 666p.
- Hesse, P. P. (1994) : The record of continental dust from Australia in
Tasman Sea sediments. *Quaternary Science Reviews*, 13, 257-272.
- Inoue, K. and Naruse, T. (1991) : Accumulation of Asian long-range eolian
dust in Japan and Korea from the late Pleistocene to the Holocene.
Catena Supplement, 20, 25-42.
- 倉林三郎 (1972) : 大山火山灰層の粘土鉱物学的特徴. 地質学雑誌, 78-1, 1-11.
- McIntosh, P. D. and Eden, D. N. (1988) : Four distinct loess sources
in northern and eastern Southland, New Zealand. "Loess", Eden
and Furkent, (eds), 107-115.
- Middleton, N. J. (1997) : Desert dust. *Arid Zone Geomorphology*, 413-
436. David S. G. Thomas(editor), JOHN WILEY & SONS, Chichester, 717p.

- Milne, J. D. C. and Smalley, I. J. (1979) : Loess deposits in the southern part of North Island, New Zealand : an outline stratigraphy. *Acta Geologica Academiae Scientiarum Hungaricea Tomus*, 22, 197-204.
- Milne, J. D. C. and Smalley, I. J. (1979) : Loess deposits in the southern part of North Island, New Zealand : an outline stratigraphy. *Acta Geologica Academiae Scientiarum Hungaricea Tomus*, 22, 197-204.
- Milne, J. D. C. and Smalley, I. J. (1979) : Loess deposits in the southern part of North Island, New Zealand : an outline stratigraphy. *Acta Geologica Academiae Scientiarum Hungaricea Tomus*, 22, 197-204.
- 溝田智俊・下山正一・鶴田正和・竹村恵二・磯 望・小林 茂 (1992) : 北部九州の緩斜面上に発達する風成塵起源の細粒質土層. 第四紀研究, 31, 101-112.
- 成瀬敏郎・井上克弘 (1982) : 北九州および与那国島のレスー後期更新世の風成塵の意義. 地学雑誌, 91-3, 164-180.
- Naruse, T., Sakai, H., and Inoue, K. (1986) : Eolian dust origin of fine quartz in selected soils, Japan. 第四紀研究, 24-4, 295-300.
- 成瀬敏郎・井上克弘 (1990) : 大陸よりの使者—古環境を語る風成塵. サンゴ礁地域研究グループ編, 「日本のサンゴ礁(自然生態地域編)熱い自然—サンゴ礁の環境誌」, 248-267. 古今書院.
- 成瀬敏郎 (1993) : 東アジアにおける最終間氷期以降の広域風雨成塵の堆積量変化. 地形, 14, 265-277.
- 成瀬敏郎・横山勝三・柳 精司 (1994) : シラス台地上のレス質土壤とその堆積環境. 地理科学, 49-2, 24-31.
- 成瀬敏郎・小野有五・平川一臣・岡下松生・池谷元伺 (1996) : 酸素同位体比ステージ2における東アジアの風成塵石英の同定. 日本地理学会予稿集, 47, 88-87.
- 成瀬敏郎・小野有五・平川一臣・岡下松生・池谷元伺 (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—アイソトープステージ2の卓越風復元への試みー. 地理学評論, 70A-1, 15-27.
- 成瀬敏郎・小野有五 (1997) : レス・風成塵からみた最終氷期のモンスーンアジアの古環境とヒマラヤ・チベット高原の役割. 地学雑誌, 106-2, 205-217.
- Stewart, R. B., Neall, V. E. and Syers, J. K. (1986) : Origin of quartz in selected soils and sediments, North Island, New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 29, 147-152.
- 鈴木裕治・成瀬敏郎・池谷元伺・岡下松生・黄 清華・安田喜憲 (1997) : 福井県敦賀・中池見湿原泥炭層中の風成塵からみた古気候変動. 月刊地球, 19-8, 521-525.
- Uematsu, M., Duce, R. A., Prospero, J. M., Chen, L., Mirrill, J. T. and McDonald, R. L. (1983) : Transport of mineral aerosol from Asia over the North Pacific Ocean. *Journal of Geophysics Research*, 88, 5343-5352.
- 柳 精司 (1995) : 山陰東部と北陸西部における最終間氷期以降の広域風成塵の堆積量と古環境. 兵庫教育大学修士論文, 54p.