

# 福島県矢の原湿原におけるモンスーン変動の復元

養輪 貴治

キーワード: 風成塵, 矢の原湿原, ミランコヴィッチ・サイクル, 酸素同位体ステージ, 広域テフラ, ソリフラクソション, ESR,

## 1. 序論

アジア地域においてはモンスーン気候が人々の生活や文化にまで深く浸透している。このモンスーン気候の産物のひとつである黄砂の飛来現象は、遠く北太平洋までおよんでいる。このことは、黄砂を含む風成塵がモンスーン気候に影響されていることは無論、広域的な気候の指標になることを示唆しており、風成塵を研究することによって過去の気候変動を明らかにしようとする試みである。

日本において風成塵の研究というのは、1980年代になるまで、行われていなかった。なぜなら、火山帯に属する日本では、風成塵を母材とする赤色風化土等はすべて火山起源の物質として考えられていたからであり、また、 $30\mu\text{m}$ 以下の微細粒を詳しく分析することは難しいことも手伝って、長年、火山起源の噴出物がその起源と考えられていたのである。そのため、日本において風成塵の研究は未解決の点が多く、特に東北地方でのデータが少ない。しかも風成塵の研究方法も完全には確立していないのが現状である。本研究では、ボーリングコア中に含まれる細粒物質について無機物堆積量、粒度組成、ESR信号強度などを分析し、同地域の花粉分析の結果(叶内,1988)と比較しながら風成塵からみた最終間氷期以降の東北地方南部の気候変動を明らかにしたい。

## 2. 風成塵に関する先行研究

Windom(1969)は大洋の海底堆積物や雪氷地域に風成塵起源の石英が広く分布していることを明らかにした。しかし、日本における風成塵の分布とその供給源について、本格的に議論されるようになったのは1980年代に入ってからである。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で、土壌中の細粒物質の特徴とその供給地などが検討されるようになった。その中でも、成瀬・井上(1982,1983)は、北九州・山陰および北陸地方に分布する台地上の土壌や古砂丘砂層について、風成砂や、これに埋没する火山灰層および古土壌の理化学的、鉱物学的研究を行い、古土壌層中のシルト・粘土サイズの鉱物中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を明らかにし、古土壌中のシルト・粘土サイズの鉱物の多くがアジア大陸から飛来した風成塵であることを明らかにした。

また、溝田・井上(1988)は、石英中の酸素同位対比が石英の生成温度を記録していることを利用して、風成石英粒子の酸素同位体組成を求めた。これによると、花崗岩や火山灰起源の石英とは異なった酸素同位体比をもつものがあり、微細石英( $1\sim 10\mu\text{m}$ )の酸素同位体比が中国と日本でほぼ同じ数値であった。この結果から、微細石英が日本に風成塵として飛来したことを示唆している。しかし、 $1\sim 10\mu\text{m}$ と $10\sim 20\mu\text{m}$ の大きさの石英の酸素同位体比が異なることや、明らかに火山灰起源石英を多く含む試料の酸素同位体比が中国のそれと似た数値を示すことなど、未解決な点も少なくない。1996年には、成瀬ほかによって、石英の給源を知る手がかりとしてESR(電子スピン共鳴法)分析が開発されている。この分析方法は、自然放射能によって石英に酸素の空格子ができる原理を応用した方

法である。日本には、先カンブリア代の岩石は分布していないことから、先カンブリア代の岩石が分布する地域と同じ ESR の数値が出た場合、その場所が供給地であると考えられる。そして、供給地がわかることで、古風系の変動を検討することができるというものである。この ESR 分析を用いて、成瀬・小野(1997)は、最終氷期のモンスーンアジアの古環境について論じ、日本周辺に飛来する風成塵の供給地と飛来コースを明らかにした。MIS 2 における風成塵の飛来コースは 3 つに分けられ、東日本は、北方アジアを供給地とし、高緯度コースを飛来し、西日本は、ゴビ・タクラマカン砂漠を供給地とし、中緯度コースを飛来したものとした。台湾近辺は、インド、中国南部の先カンブリア系の地域から低緯度コースを飛来したことを指摘している。また、東アジアの黄土・土壌および地質年代の異なる石英についての酸素空格子信号強度が示されており、ESR 分析によって給源を示す指標となる。

### 3. 研究方法

福島県大沼郡昭和村にある矢の原湿原(東経 139° 36' 641",北緯 37° 18'412")で採取したボーリング試料について、次の処理と測定および分析を行い、それぞれの分析結果を考察し、結論を得た。全体の研究過程は図 2 を参照

- (1) 分析試料の調整：(3 cm ごとに切断, .187 個サンプル)
- (2) 火山灰の確認
- (3) 帯磁率測定
- (4) 全無機物の堆積量の測定
- (5) 粒度分析：(中央粒径値, ヒストグラム)
- (6) X 線回折：(積分強度から石英含有率の算出)
- (7) ESR (電子スピン共鳴法) 分析：(酸素空格子信号強度)

### 4. 試料採取地域の概要

矢の原湿原は、福島県大沼郡昭和村の中央に位置する矢の原高原に存在する。面積は 54.32ha であり、東西に長い北部一帯と南北に長い南部一帯の二つからなる。現在、北部一帯はヨシ、スゲ類を主とする低層湿原で、南部一帯はミズゴケ、ヒツジグサを主とする高層湿原である。北部一帯は西側に開拓パイロット区として開墾されたため、赤土が流入し、自然な植生が破壊されている。南部一帯は立ち入る者も少なく自然の状態を保っている。この湿原は福島県自然環境保全地域に指定されている。今回の研究では、南部一帯からサンプルを採取した。南部一帯は、南北に長さ 800m に及ぶ。幅は狭いところでは 30m、東西の谷間に突入した幅広いところでは 300m ある。周辺の山地は一部、杉人工林があるが大部分が広葉樹二次林である。

地形は、標高 700m 台の高原内に標高 670m の谷もしくは窪地がせき止められて生じた湿原である。四方を標高 720m 台の山に囲まれており、代官の清水などの湧水がいくつもあるが流出河川が発達していないことと、地図上では湿原への流入河川は見られないが、多くの谷が存在するため常に湿原には水量は多くないが水がある状態である。また、湿原は殆ど平坦で僅かに南から北へ傾斜している。地形の成り立ちは、第三紀鮮新世の準平原化後、第四紀に地殻変動が活発化して高原化、刻む谷によって削られていたが、せき止められて閉鎖水系となり湿原化したと考えられる。矢の原高原は、前輪廻性の谷で遷急点(ニックポイント)が見られる。湿原の周辺部は平坦部であり、平坦部を囲むようにして山地斜面がある。

広域的な表層の地質は、新第三紀にできた主にグリーンタフと呼ばれる凝結凝灰岩である。詳細には更新統の火山岩塊・礫・砂であり、今回の研究に適した地質である。

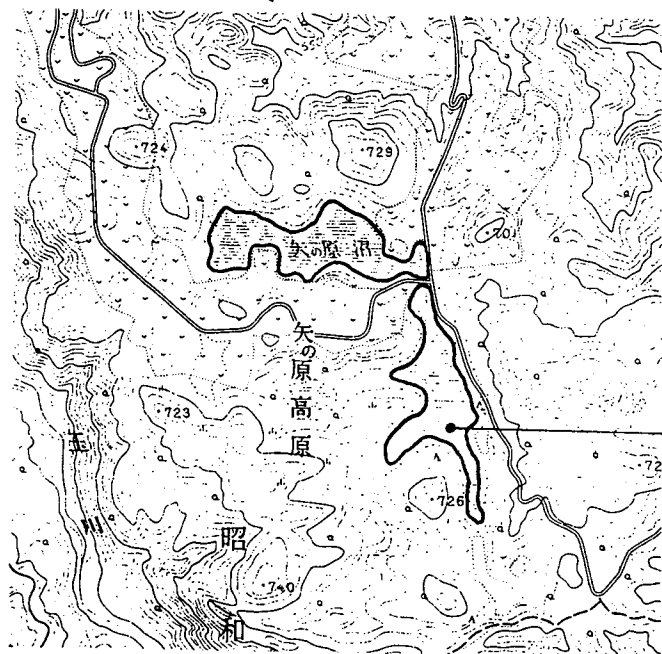
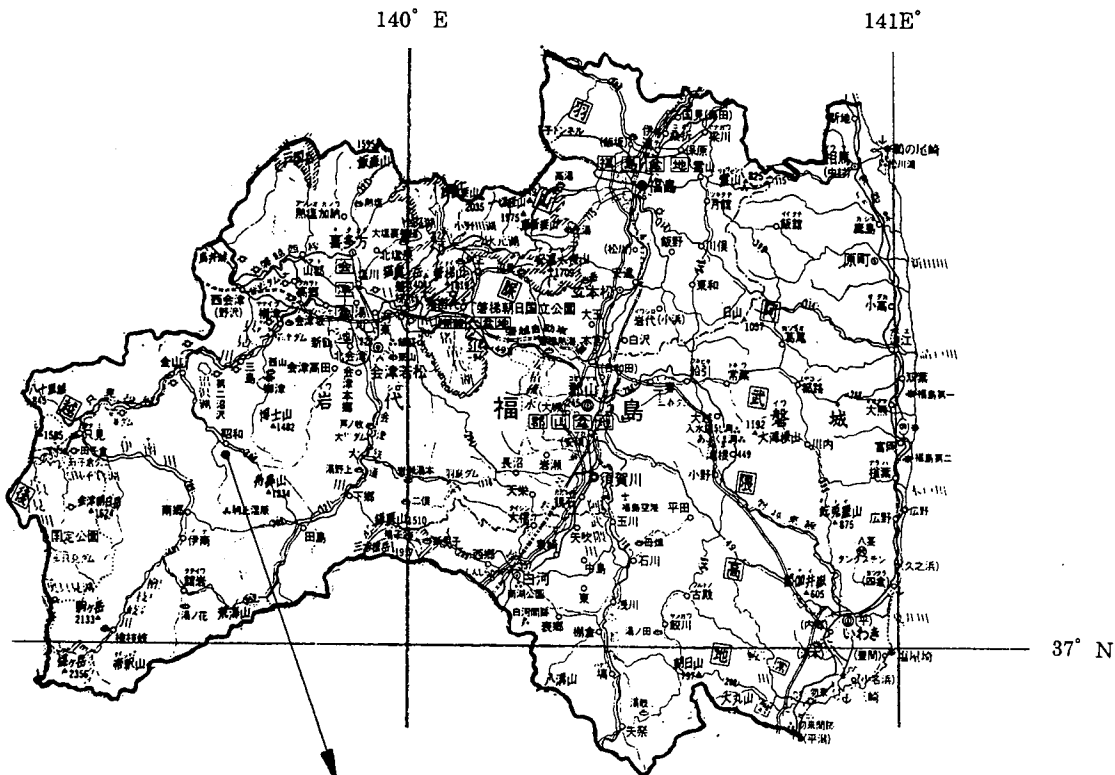


図1 研究地域

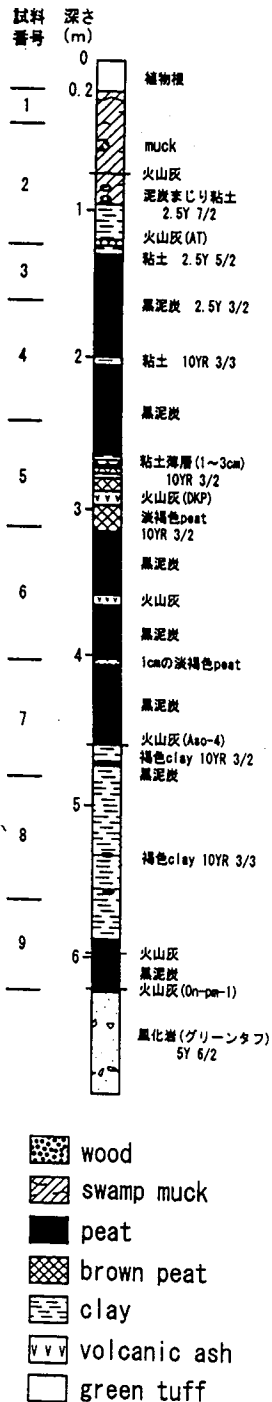


図3 ボーリング試料の柱状図

## 5. 分析結果

### (1) 火山灰の同定

第26層にAT(始良丹沢火山灰)、第79層、第80層は厚さ12cmのDKP(大山倉吉軽石火山灰)、第132層にAso-4(阿蘇第4火山灰)、第181層からOn-Pm-1(御岳第一軽石火山灰)が確認された。

### (2) 帯磁率測定

帯磁率をみると、火山灰の層準で数値が高く、DKPの層準と近隣火山からの火山灰と考えられる層準(sample No 第101層に相当)で高い数値が得られた。特に第101層に相当する部分では他に比べると格段に高い3.4433というピークを得た(この第101層に相当部分の326cm~334cmまでは1以上の高い数値のため、上限をグラフではカットした。)。これは、火山灰に含まれる磁性鉱物の影響が強く受けたためとみられる。ATやAso-4磁性鉱物が少ないのか数値は火山灰層準でない部分と比べて同程度である。火山灰層準以外は、 $0.2 \times 10^{-3} \text{SI}$ であり、ほとんどが $0.1 \times 10^{-3} \text{SI}$ である。

### (3) 無機物量変化

MIS 5bにあたる95,000~85,000年前間では、92,000年前頃にわずかであるが無機物堆積量が減少するが、その後、増加している。

MIS 5aにあたる85,000~74,000年前間では、85,000~80,000年前は無機物堆積量が増加しつつ多いが、80,000~74,000年までは無機物堆積量が少ない。

MIS 4にあたる74,000~61,000年前までは、小さなスパイクが存在するが、全体的に無機物堆積量が少ない。

MIS 3にあたる61,000~29,000年前は53,000年前頃にピークがあり、約43,000年前に大きなスパイクが認められる。

MIS 2にあたる29,000~11,000年前頃までは無機物堆積量が最も多い(火山灰を含む)。MIS 1にあたる11,000~約3,000年前までは、無機物堆積量が極めて少ない。

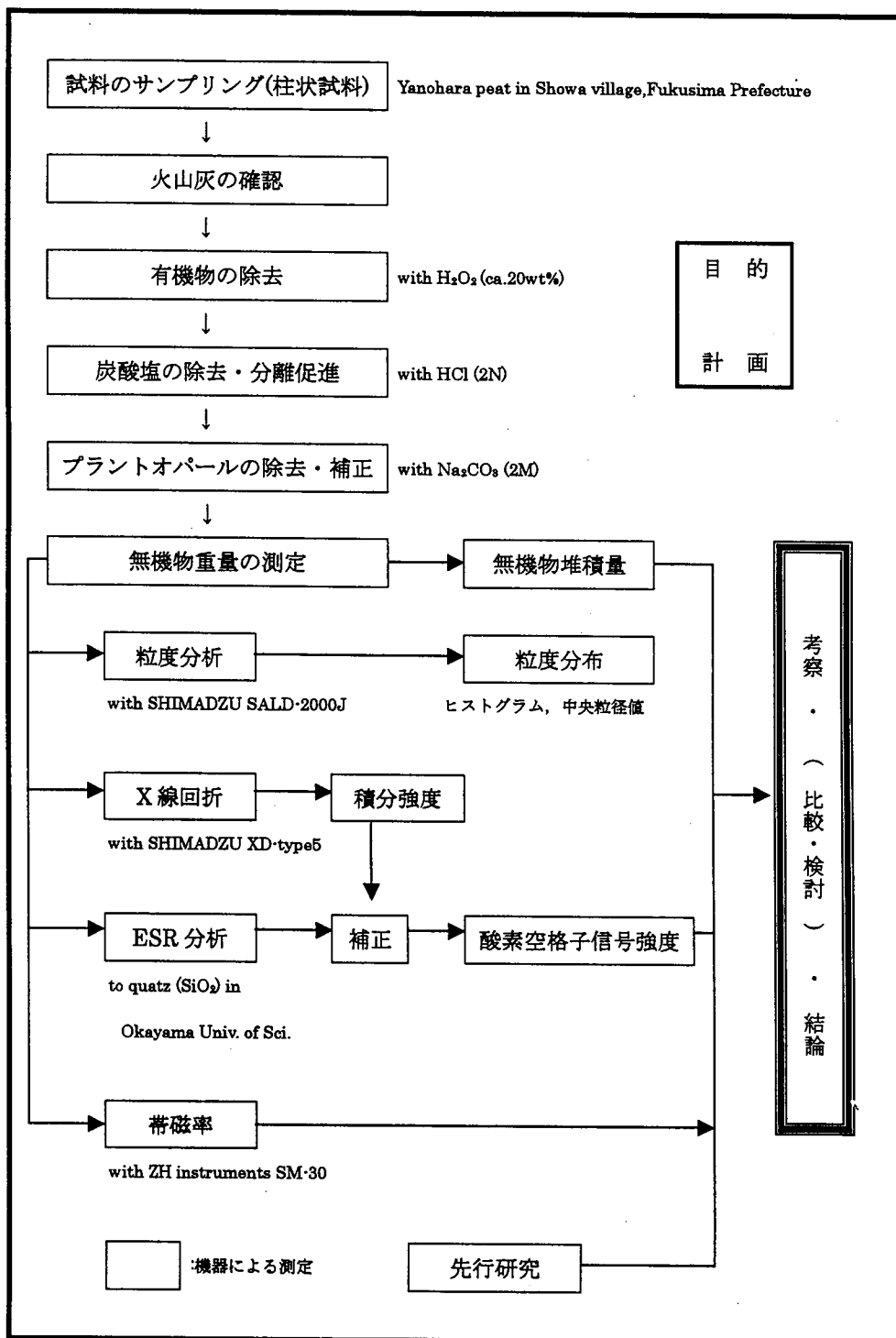


図2 研究過程

MIS 5bにあたる95,000～85,000年前では、92,000年前頃に10 $\mu$ m以下に減少するが、15 $\mu$ mよりも粗い層準である。

MIS 5aにあたる85,000～74,000年前では、10 $\mu$ m～22 $\mu$ m間を変動する。

MIS 4にあたる74,000～61,000年前では、火山灰以外はほとんど10 $\mu$ m～20 $\mu$ mまでの数値である。現地性火山灰と考えられる層準以外に、約69,000年前に鋭いスパイクが認められる(60 $\mu$ mのピークを示す)。

MIS 3に相当する61,000～29,000年前は、目立ったスパイクもなく、小刻みな変動ながら、Mdが小さい層準では無機物堆積量が多く、逆にMdが大きい層準では無機物堆積量が少ない。

MIS 2にあたる29,000～11,000年前頃までは、Mdが10 $\mu$ m以下と小さく、風成塵起源の物質が多く占める可能性が高い。

MIS 1にあたる11,000～約3,000年前までは、中央粒径値が20 $\mu$ m前後と大きいため、温暖で現地性物質が多く堆積したと考えられる。

#### (4) X線回折

ESR分析を行う試料に含まれる石英の%を算出するために、X線回折を行った。計算方法は、積分強度と経過時間を用いて、石英%を算出した。

#### (5) ESR(電子スピン共鳴法)分析

ESR分析で得られた酸素空格子信号強度をX線回折で得られた石英%で補正した。

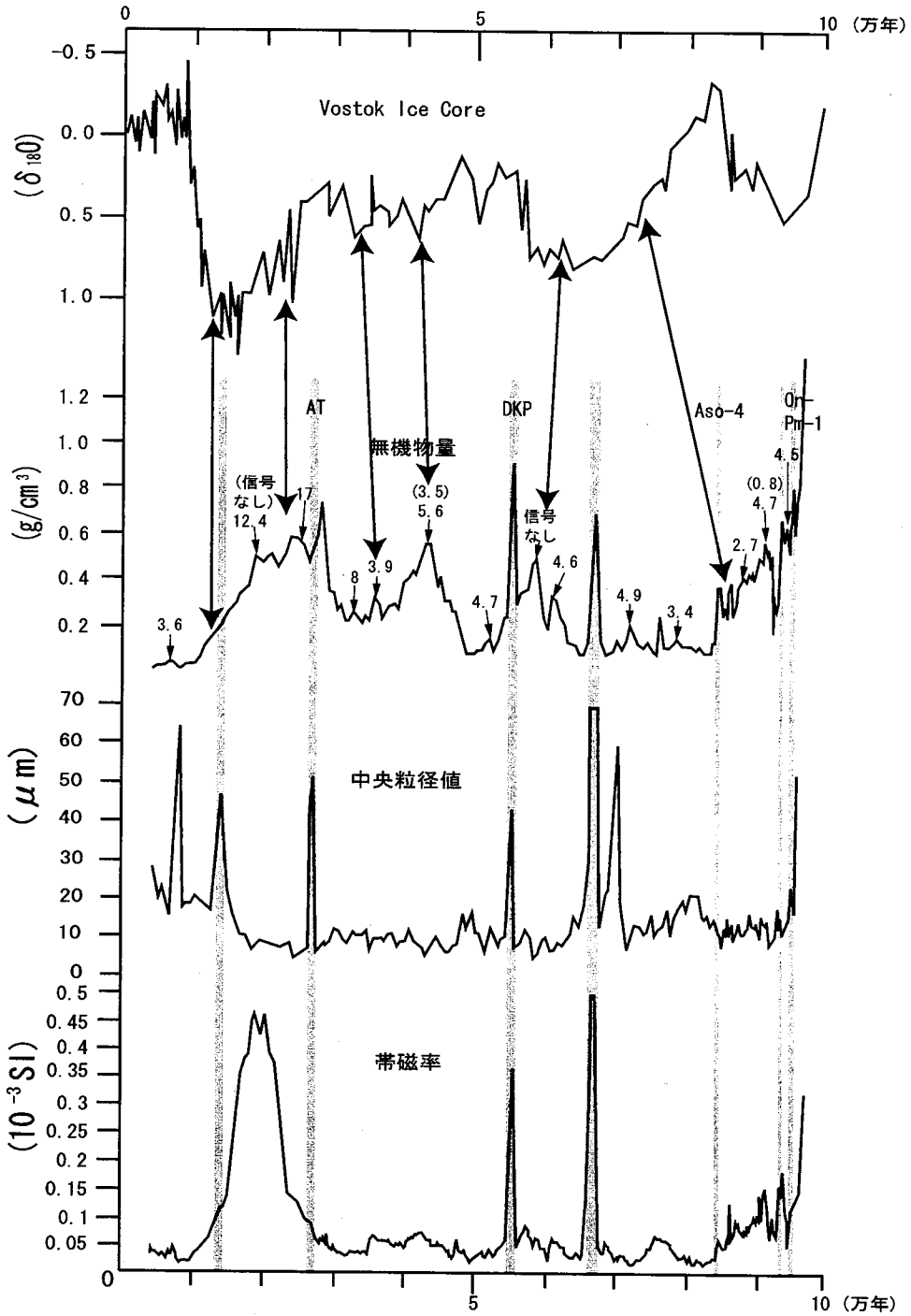
$$\text{ESR 補正值}(1.3 \times 10^{15} \text{ spin/g}) = \text{酸素空格子信号強度(raw data)} \times 100 \div \text{石英含有率}(\%)$$

上記の補正式より、補正値を算出したデータが表1である。

表1 ESR補正値データ

Sample No.	ESR Basic Data	ESR 補正値	年代(年)
Y-1-5	1.26	3.6	6340
Y-2-15	5.04	12.4	18000
Y-2-21	4.02	17	24000
Y-3-8	3.77	8	32195
Y-4-1	2.38	3.9	34913
Y-4-14	2.44	5.6	43084
Y-5-9	2.79	4.7	51994
Y-5-24	信号なし	信号なし	58211
Y-6-2	2.93	4.6	60899
Y-6-20	3.31	4.9	70648
Y-7-4	2.31	3.4	76830
Y-8-4	1.58	2.7	86640
Y-8-18	1.61	4.7	90068
Y-9-12	1.85	4.7	93845
Y-2-15 >63	信号なし	信号なし	18000
Y-4-14 >63	1.42	3.5	43084
Y-8-18 >63	0.12	0.8	90068

以上の分析結果を暦年代の火山灰年代を使ってグラフ化し、無機物堆積量グラフにESR値を記載して、Vostok coreの $\delta^{18}\text{O}$ のグラフと並べたものが図4である。



火山灰層

無機物量グラフの数値は、ESR値である。数値は $\leq 20 \mu\text{m}$ のESR値、括弧内の数値は $> 63 \mu\text{m}$ のESR値である。

図4 Vostok coreの $\delta^{18}\text{O}$ と矢の原湿原のグラフとの比較

## 6. 考察

### (1) MIS との比較・検討

MIS 5b にあたる 95,000~85,000 年前では、92,000 年前頃にわずかであるが無機物堆積量が減少するが、その後、増加している。中央粒径値も同時期に一度  $10\mu\text{m}$  以下に減少するが、全体的に  $15\mu\text{m}$  よりも粗い。ESR 値は、Y-8-4、Y-8-18、Y-9-12 の  $\leq 20\mu\text{m}$  の ESR 値が 2.7、4.7、4.7 であることと、Y-8-18 の  $>63\mu\text{m}$  の値が 0.8 であることから流入物質が多く、風成塵がこれに混入していると考えられる。この時期、風成塵の飛来は少なく、比較的温暖であったと考えられる。

MIS 5a にあたる 85,000~74,000 年前のうち、85,000~80,000 年前は無機物堆積量が多いが、80,000~74,000 年は無機物堆積量が少ない。

中央粒径値はほぼ  $10\mu\text{m}$ ~ $22\mu\text{m}$  間を変動している。このことは、流れ込み物質が多かったことを示すと考えられる。ESR 値は、Y-7-4 は 3.4 と低く、無機物堆積量も少なく、温暖で風成塵の供給が少ない現地性物質の堆積がさかんな時期であったと考えられる。

MIS 4 にあたる 74,000~61,000 年前までは、小さなスパイクがいくつか存在するが、全体的に無機物堆積量が少ない。中央粒径値は、火山灰以外はほとんど  $10\mu\text{m}$ ~ $20\mu\text{m}$  の数値である。現地性火山灰と考えられる層準以前に、約 69,000 年前に  $60\mu\text{m}$  をピークとする鋭いスパイクがあるので流れ込み物質が比較的多い時期であったと言える。Y-6-2、Y-6-20 の ESR 数値は、それぞれ 4.6 と 4.9 である。このことから風成塵の供給は活発ではなく、寒冷であったために周氷河作用によるソリフラクション物質の流れ込みが活発な時期であったと考えられる。

東北地方南部で斜面物質移動を論じた宮城・小岩・竹中 (1996) によると、「東北地方南部の盆地底堆積物において土砂供給卓越時期と泥炭層拡大期が存在することを明らかにし、土砂の拡大期は、11 万年~10 万年前、7.5 万年~6 万年前、5.5 万年~5 万年前、約 4 万年以前、3 万年~2.5 万年前、1.1 万年前以降に極めて顕著であり、特に 6 万年前後には盆地の中央部に厚い砂層を見られる」としており、75,000~65,000 年前頃は、植生変遷からみると寒冷であり、ソリフラクションによる最大の土砂供給時期であったとされる。このことから、寒冷で風成塵の供給は活発であったと考えられるが、土砂供給卓越時期が最も活発化した時期であり、細粒物質が多く生産、移動した結果、コア中に風成塵の痕跡はほとんどみられなかったのであろう。

MIS 3 にあたる 61,000~29,000 年前は、無機物堆積量では、53,000 年前頃にピークがあり、約 43,000 年前に大きなスパイクが認められる。中央粒径値は小刻みな変動ながら、Md が小さい層準では無機物堆積量が多く、逆に Md が大きい層準では無機物堆積量が少ないため、この小さなスパイクは気候変動を示すと思われる。Y-3-8、Y-4-1、Y-4-14、Y-5-9、Y-5-24 の ESR 値は、それぞれ 8.0、3.9、5.6、4.7、信号なし、という結果である。Y-5-24 は測定値を得られなかったため判断できないが、石英の含有率は 57.6% と高く、Md が小さいことから、風成塵の可能性を否定できない。しかし、粒度分布図 (図 5.7) を見ると、 $>63\mu\text{m}$  画分の流れ込み物質があることと、Y-5-24 の時期は土砂供給量が活発であったと考えられるので、Y-5-24 に主に含まれる石英が風成塵である可能性は低い。

Y-5-9 は、ESR 値が低く、無機物堆積量が少ないので現地性物質が主であると考えられる。Y-4-14 は、無機物堆積量が多く、高い ESR 値が期待されたが 5.5 と高くなかった。しかも、 $>63\mu\text{m}$  の流れ込み物質が多いので流れ込み物質が多かったと考えられる。東北地方の風成塵の供給地は北方アジア予想されるが、5.5 という低値は中国砂漠起源の風成塵とも考えられるが想像の域を出ない。



Y-4-1は、スパイクをなすがY-4-14と同じ理由で低いESR値が出たと考えられる。Y-3-8は、無機物堆積量が少ないわりに、8.0と高い数値が出たのは、風成塵の供給地が北方アジアと考えられる。その理由は、粒度分布図をみると $>63\mu\text{m}$ の流れ込み物質の比率が大きいわりに高いESR値が出ている。

MIS 2にあたる29,000~11,000年前頃までは無機物堆積量が最も多い(火山灰を含む)。中央粒径値は、 $10\mu\text{m}$ 以下と低く、風成塵起源の物質が多い可能性がある。ESR値では、Y-2-15、Y-2-21ともに12.4と17.0という高い数値を示し、無機物のほとんどが風成塵であったと言える。これらの起源は北方アジアと考えられる。無機物堆積量も多く、Mdも $10\mu\text{m}$ 以下と低く、シベリア高気圧が発達し、寒冷で北西季節風が強かったと考えられる。Y-2-15の数値がY-2-21と比べて低いのは、Y-2-15の粒度分布図を見るとuni-modalであり、 $3\phi$ をピークとする山が存在する。

図より30,000~20,000年前にかけて土砂供給が優勢になっている。よって、このピークは現地性の物質と考えられる。この両者の値の差は多く風成塵が飛来していたが、試料番号2-15には、ソリフラクションによって多くの現地性の細粒物質が流れ込んだために数値が若干低く測定されたと考えられる。この時期は寒冷であり、最終氷期に対比される。

MIS 1にあたる11,000~約3,000年前までは、無機物堆積量が極めて少ない。中央粒径値は、 $20\mu\text{m}$ 前後と大きいため、温暖で現地性物質が多く堆積したと考えられる。ESR値は、Y-1-5が3.6であるから、現地性物質と考えられる。無機物堆積量も少なく、温暖なMIS 1に対比できる。

## (2) 泥炭拡大期と土砂供給期との関係

前述したように、宮城・小岩・竹中(1996)は、「東北地方南部の盆地底堆積物において土砂供給卓越時期と泥炭層拡大期が存在することを明らかにし、土砂の拡大期は、11万年~10万年前、7.5万年~6万年前、5.5万年~5万年前、約4万年前、3万年~2.5万年前、1.1万年前以降に極めて顕著であり、特に6万年前後には盆地の中央部に厚い砂層を見られる」としている。このことは、同地域である東北地方南部に位置する矢の原湿原においても、無機物堆積量と粒度分析により、ほぼ同様の結果が得られた。特に、無機物堆積量では、80,000~60,000年前にかけては、小さなスパイクを含むもののほぼ $0.2\text{g}/\text{cm}^3$ 以下と小さく、年代では、MIS 4に対比できるので、寒冷であれば、風成塵が多く飛来し、無機物堆積量も多くなるはずであったが、泥炭があまり発達せず、ソリフラクションによる土砂供給が多く、風成塵堆積が希釈されたと考えられる。

55,000~50,000年前でも無機物堆積量が少なく、ESR値が4.7と小さいことから、風成塵の堆積が多くなく、ソリフラクションの影響があったと考えられる。約40,000年前後では、無機物堆積量が多いものの、粒度分布図から $4\phi$ 以上の無機物が多いことから、土砂供給が多かった時期と言える。30,000~25,000年前では、無機物堆積量が多く、粒度分布図(資料p.11,12)  $4\phi$ 以上の無機物が多い。11,000年前~現在にかけては無機物堆積量が少なく、中央粒径値が $20\mu\text{m}$ 以上である。

## (3) 花粉分析との比較

叶内(1988)による矢の原湿原の花粉分析では、花粉化石組成の層位的変化によって、YH-I帯(深度6.40~4.40m)、YH-II帯(深度4.30~2.70m)、YH-III帯(深度2.60~1.80m)、YH-IV帯(深度1.70~1.0m)、YH-V帯(深度0.9~0.4m)の5つに分類している。

YH-I帯は、スギ属、マツ属を主要素とする温帯針葉樹林であり、YH-II帯はトウヒ属を主要素とする亜寒帯針葉樹林であり、YH-III帯は亜寒帯針葉樹種と温帯落葉樹種が

混交す針広混交林であり、YH-IV帯はカバノキ属を多く混える亜寒帯針葉樹林であり、YH-V帯は温帯落葉樹林とした。これらを、叶内(1988)の論文中の柱状図より、暦年代による火山灰年代から年代を算出すると、YH-I帯は、約 95,000~70,000 年前、YH-II帯は、約 70,000~46,000 年前、YH-III帯は、約 46,000~33,500 年前、YH-IV帯は、約 33,500~19,500 年前、YH-V帯は、約 19,500~7,000 年前にそれぞれ補正される。

叶内(1988)によれば、YH-IIa帯(約 70,000~59,000 年前)と YH-IV帯に 2 回の寒冷期が認められている。この結果は、MIS 4 と MIS 2 のそれぞれにほぼ対応し、花粉分析の結果から矢の原湿原の試料中に気候変動の痕跡が認められることが実証されている。

今回の分析の結果と比較すると、YH-IIa帯に対応する層準では、無機物堆積量が少なく、 $>63\mu\text{m}$  の流れ込み物質が多いことから、寒冷で風成塵が多く飛来したとは言えない。YH-IV帯に対応する層準では、無機物堆積量が多く、ESR 値が 12.4 と 17.0 であり、寒冷な時期に北方アジアから北西季節風によって多くの風成塵が飛来堆積したことが想定され、これは、花粉分析結果と調和的である。

#### (4) Milankovitch Cycle との比較

Milankovitch Cycle のうち、地軸の歳差運動に基づく太陽と地球の位置関係の周期変化(23,000 年)と地軸の傾きの周期変化(40,000 年)について、無機物堆積量がどちらの周期においても多いことから対比できると考えられる。歳差運動に基づく周期変化では、ESR 値が 17.0 と出ており、より寒冷であったことが言える。地軸の傾きの周期変化では、ESR 値が 5.5 と小さいが土砂供給拡大期と重なり、ソリフラクション物質 (ESR 値 3.5) が混入しているために数値が小さく出ていると考え、やはり寒冷期であったと推測でき、対応できると思われる。

#### (5) 帯磁率

帯磁率の変化は、気候変動との関係や風成塵、現地からの流入物質との関係は明らかではないように見える。ただし、無機物量の変動と帯磁率の変動の間に全く関連がないとは断言できない。例えば、部分的に無機物量の変化と帯磁率の変化が同調して変動している部分があり、両者に似かよった点があると言え、両者の関係についての考察は今後の課題であろう。

### 7. 結論

(1) MIS 5b にあたる時期では、無機物堆積量が多く、 $4\phi$  以上の物質が多い。そして、 $>63\mu\text{m}$  の ESR 値も 0.8 と低く、 $\leq 20\mu\text{m}$  の ESR 値が 5 以下であることから、風成塵の飛来はあったが、現地性物質が多かった可能性が高い。このことは、寒冷化によるソリフラクション作用によって細粒物質が多く流入したと考えられる。MIS 5b 期は、MIS 5 の中でも寒冷な時期であることと対応していると言える。

MIS 5a 期は、温暖期にあたり、無機物堆積量が少なく、中央粒径値が  $10\mu\text{m}$  ~  $22\mu\text{m}$  間を変動し、ESR 値も小さいことから風成塵の供給はほとんどない温暖な時期であったと考えられる。

MIS 2 期は、無機物堆積量が MIS 2 期の全期わたって多く、中央粒径値も  $10\mu\text{m}$  以下と小さい。ESR 値も Y-2-15 で 12.4、Y-2-21 が 17.0 であり、風成塵の供給源は北方アジア起源と推察できる。

MIS 1 期は無機物堆積量が非常に少なく、中央粒径値も  $20\mu\text{m}$  以上と大きい。ESR 値も 3.6 と小さく、流水物質の多い温暖な時期であったと言える。

(2) 95,000~29,000 年前までは、周氷河作用の影響が大きく、湿原への土砂供給拡大期が

繰り返し起こったと考えられる。MIS 5a 期は、温暖であったが、MIS 4 期には、周氷河作用の影響が大きく、土砂供給拡大期にあたっている。MIS 3 期において無機物堆積量が少なく温暖であったが、Dansgaard-Oeschger Cycle や Heinrich Event、Bond Cycle などは見られなかった。今回の研究では、精度的には試料を 3 cm ごとに切ったため、1 つの試料が 204~1,000 年という大まかな分析結果であるため、精度的に無理があったと思われる。しかし、土砂供給が弱まる 29,000 年前以降、MIS 2 期では、無機物量が多くなり、北方アジア起源の風成塵が卓越したと考えられる。MIS 1 期では、無機物堆積量が少なく、中央粒径値が 20  $\mu$ m 以上である。

(3) 矢の原湿原において MIS 2 期には、北方アジア起源の風成塵が飛来していたことから、シベリア高気圧が発達し、寒冷で北西季節風が強かったと考えられる。また、矢の原湿原の地理的な位置から、北方アジア起源の風成塵が中緯度コースの北限付近まで飛来していたと考えられる。

### 参考文献

- Barnola, J. M. Raynaud, D. Korotkevich, Y. S., & Lorius, C (1987) Vostok ice core provides 160,000-year record of atmospheric CO<sub>2</sub>. *Nature*, 329, 408-414
- Bond, G. Broecker, W. et al (1993) Correlations between climate records from North Atlantic sediments and Greenland ice. *Nature*, 365, 143-147.
- Dansgaard, W. Johnsen, S. J. et al (1993) Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. *Nature*, 364, 218-220.
- 池谷元伺・三木俊克 (1992) 『ESR 顕微鏡』シュプリンガー・フェアラーク東京, 65-83.
- 井上克弘・溝田智俊 (1988) 黒ボク土および石灰岩・玄武岩台地上の赤黄色土の 2:1 型鉱物と微細石英の風成塵起源. 粘土科学, 28, 30-47.
- Jouzel, J. Lorius, C et al (1987) Vostok ice core: a continuous isotope temperature record over the last climatic cycle (160,000 years). *Nature*, 329, 403-407.
- 叶内敦子 (1988) 福島県南部・矢の原湿原堆積物の花粉分析による最終氷期の植生変遷. 第四紀研究, 27, 177-186.
- 熊井久雄 (1993) 『環境地質学からみた地球環境の諸問題-地球環境研究 100 年の系譜-』1-25, 東海大学出版会.
- 町田 洋・新井房夫 (1976) 広域に分布する火山灰-始良 Tn 火山灰の発見とその意義-. 科学, 46, 339-347.
- 町田 洋 (1977) 『火山灰は語る』324 p, 蒼樹書房
- 町田 洋・新井房夫 (1992) 『火山灰アトラス[日本列島とその周辺]』276 p, 東京出版会
- 宮城豊彦・小岩直人・竹中 純 (1996) 東北地方南部低山帯における最終間氷期以降の 環境変遷と斜面物質移動. 東北学院大学 東北文化研究所紀要, 27, 1-27.
- 文部省国立天文台編 (2000) 『理科年表 平成 13 年度版』202-207, 218, 丸善.
- 成瀬敏郎・柳 精司・河野日出夫・池谷元伺 (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.
- 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, 205-217.
- 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. 地理学評論, 70A-1, 15-27.
- 成瀬 洋 (1982) 『第四紀』269 p, 岩波書店.
- Petit, J. R. Jouzel, J. et al (1999) Climate and atmospheric history of the past 420,000 years

from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature*, 399, 428–436.

- 住 明正・安成哲三ほか (1996) 『岩波講座地球惑星科学 11 気候変動論』 103–156, 岩波書店.
- 多田隆治 (1997) ダンスガード・サイクルー突然かつ急激な気候変動と日本海海洋変動一. 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一. 地学雑誌, 107, 218–233.
- 鳥居雅之・福間浩司 (1988) 黄土層の初磁気化率: レビュー. 第四紀研究, 37, 33–45.
- 鳥居雅之 (2000) 黄土層の磁性—まだやることはあるか?!—. 月刊 地球, 22, 146–148.
- Xiao, J. Inouti, Y. Kumai, H. Yoshikawa, S. et al (1997) Biogenic Silica Record in Lake Biwa of Central Japan over the Past 145,000 Years. *Quaternary Research*, 47, 277–283.
- Xiao, J. Inouti, Y. Kumai, H. Yoshikawa, S. et al (1997) Fluvial Quartz Flux to Lake Biwa of Central Japan over the Past 145,000 Years. 第四紀研究, 36, 17–27.
- 安田喜憲・小泉 格 (1995) 『講座 文明と環境 第1巻 地球と文明の周期』 270 p, 朝倉書店.
- 安成哲三・柏谷健二 (1992) 『地球環境変動とミランコヴィッチ・サイクル』 25–52, 古今書院.