

## 論文内容の要旨

論文題目 : Reconstruction of millennial-scale variation in eolian dust transport path to the Japan Sea based on grain size and ESR analyses

(粒度・ESR 分析に基づく日本海への風成塵運搬ルートの千年スケール変動復元)

氏名 : 長島 佳菜

### 1. はじめに

1990 年代初頭, グリーンランド氷床コア GRIP, GISP II を用いた研究から, 最終氷期に数百年~数千年間隔で繰り返された気候変動の存在が明らかにされた (e.g., Johnson et al., 1992; GRIP members, 1993). 僅か 10 年余りのうちに $\sim 10^{\circ}\text{C}$ もの温度上昇を伴う急激な温暖化によって特徴付けられる変動の繰り返しは, Dansgaard-Oeschger Cycles (以下 D-O Cycles と呼ぶ) と呼ばれる (Dansgaard et al., 1993), 現在の気候システムの安定性を理解する上でも重要な現象として注目を集めた. その後, この変動は, 世界各地の陸上および海洋における高分解能古環境変動記録に認められることが報告され, 少なくとも北半球全域に及ぶ現象であることが明らかになってきた. しかし D-O Cycles の究極原因や伝播メカニズム, 特に後者における大気循環の役割は明らかにされていない.

1990 年代後半以降, 日本海の有機炭素含有量 (Tada et al., 1999) や, 中国南東部の Hulu cave の石筍の酸素同位体比 (Wang et al., 2001) から, 東アジア夏季モンスーンの降雨量変動が D-O Cycles に連動していた可能性が示され, D-O Cycles に連動した大気循環変動の存在が示唆された. しかし, それらの具体的変動様式については明らかにされていない. そこで本研究では, 日本海

堆積物に含まれる風成塵の供給源、粒径、含有量などの情報の抽出法を確立し、運搬風の強さや供給源からの距離に関する情報を記録すると言われている風成塵の粒径や供給源の乾燥度や広がりについての情報を記録すると言われる風成塵のフラックスについて、その時代変化及び緯度方向の変動を復元することにより、**D-O Cycles** に連動した大気循環の存在を検証すると共に、その空間的変動様式の解明を目指した。

## 2. 日本海堆積物中の碎屑物の供給源推定

日本海半遠洋性堆積物には、風成塵以外に、周囲の陸域の河川から供給され、サスペンション（浮遊）によって運ばれた碎屑物も含まれていることが示唆されている（**Irino and Tada, 2000, 2002**）。そのため、日本海堆積物から風成塵に関する情報を抽出するには、それらの影響を評価し分離する必要がある。また分離した風成塵要素についてその供給源を特定することが出来れば、風成塵運搬経路についての情報を得ることができる。そこで、碎屑物の供給源推定には、風成塵の主要構成要素である石英を用い、その生成年代を反映する **ESR** 信号強度（e.g., **Toyoda, 1992**）、および生成条件を反映する結晶化度（**Murata and Norman, 1976**）を用いて日本海半遠洋性堆積物に含まれる碎屑物の供給源を推定し、風成塵の寄与率を推定すると共に、それが主にどの粒度フラクションに存在するかについて検討した。

分析対象には、日本海南北 2 地点から得られた過去 15 万年間に相当する半遠洋性堆積物を用いた。さらに日本海に碎屑物を供給していると考えられる（**Irino and Tada, 2000, 2002**）日本島弧試料には、本州秋田沖の陸棚斜面上から採取され、その堆積速度や組成から、日本島弧からの碎屑物の供給が卓越すると考えられる（**Matsui, 1999MS**）**PC-9** コアを、風成塵を代表する試料としては、主要な風成塵供給源の一つである黄土高原のレス試料を用いた。

日本海半遠洋性堆積物に含まれる石英の **ESR** 信号強度、結晶度分析結果は、**ESR** 信号強度を X 軸、結晶化度を Y 軸とする X-Y 座標上で、およそ (9, 11), (7.5, 7.2), (22, 8.5) を頂点とする三角形内の領域に分布し、(9, 10.5) の頂点付近には黄土高原試料の細粒シルトフラクションが、(7.5, 7.2) の頂点付近には日本島弧 clay フラクション (0~4 μm) がそれぞれ対応した。残る一つの頂点 (22, 8.5) については、その高い **ESR** 信号強度から考えて、日本海の北西に位置し、高い **ESR** 強度をもつ石英が報告されているシベリア~中国東北部起源のシルトが対応すると考えられる。これらのことから、日本海半遠洋性堆積物に含まれる石英が、タクラマカン砂漠~中国黄土高原細粒シルトフラクション、日本島弧 clay フラクション、シベリア~中国東北部細粒シルトフラクションをエンドメンバーとする 3 成分系の混合で説明されることが示唆された。また、日本海半遠洋性試料について、日本島弧起源石英の割合と碎屑物全体に占める clay フラクション

(0~4  $\mu\text{m}$ ) の割合との関係を調べたところ、両者には正の相関が見られ、日本海に運搬される日本島弧起源の石英はほとんど全て日本海半遠洋性堆積物の clay フラクシオン (0~4  $\mu\text{m}$ ) に含まれ、タクラマカン砂漠~中国黄土高原、シベリア~中国東北部の 2 地域から供給された風成塵起源の石英は主にシルトフラクシオン (4~ $\mu\text{m}$ ) に含まれていることがわかった。また、風成塵の供給源については、氷期極相期および亜氷期には、シベリア~中国東北部からの寄与が卓越し、間氷期極相期、および亜間氷期には中国黄土高原からの寄与が卓越する可能性が示唆された。

### 3. 日本海南北における風成塵粒径に基づくアジアモンスーン/偏西風のオービタル、千年スケール変動の検証

石英の ESR 信号強度・結晶化度を用いた石英粒子供給源の検討から、日本海に堆積する石英のシルトフラクシオン (4~ $\mu\text{m}$ ) は風成塵起源であり、一方 clay フラクシオン (0~4  $\mu\text{m}$ ) は日本島弧からの石英を主体とすることが明らかにされた。そこで、日本海半遠洋性堆積物に含まれる碎屑物のシルトフラクシオンを抽出してその粒径や含有量を測定した。

日本海南北 2 地点でのシルトフラクシオンの中央粒径は、過去 15 万年の間にオービタルスケールおよび千年スケールで約 7~10  $\mu\text{m}$  の間で変動し、特に MIS 3~5 において、D-O Cycles に連動した変動を示した。シルトフラクシオンの中央粒径は、北緯 30° における夏の日射量の極大期、および亜間氷期に極小となり、日射量極小期および亜氷期に極大となる傾向を示した。さらに、日本海南北 2 地点でのシルトフラクシオン中央粒径を比較すると、間氷期極相期には日本海南部地点が北部地点よりも粒径が大きく、亜間氷期には 2 地点の有意な差がなく、氷期極相期およびほとんどの亜氷期では日本海北部地点が南部地点よりも粒径が大きい傾向を示した。一方、日本海南北 2 地点でのシルトフラクシオンのフラックスは、過去 15 万年間で約 0.5~3.4  $\text{g}/\text{cm}^2/\text{kyr}$  の間で変動し、日射量極大期におけるシルトフラクシオンのフラックスは日本海北部で小さく南部で大きな値を示し、日射量極小期には日本海南北ともほぼ同じ大きな値を示した。

オービタルスケールおよび千年スケールでの風成塵供給源、粒径、フラックス、それらの南北差の変動の原因をさらに調べるために、ESR 信号強度・結晶化度から認定された風成塵の供給源および各供給源からの風成塵フラックスの時代変化を復元した。シルトフラクシオンのフラックスおよび ESR 信号強度・結晶化度を用いた日本海南部地点における風成塵供給源推定から、日射量極小期にはシベリア~中国東北部から運搬される風成塵フラックスの増加と、タクラマカン砂漠~中国黄土高原から運搬される風成塵フラックスの減少が、また日射量極大期にはその逆の結果が示された。現在の風成塵の発生および運搬が、東アジアにおける夏季と冬季の降雨量、

および偏西風やアジア冬季モンスーンに由来する強風によって規定されていることを考慮すると、この結果は、偏西風ジェット軸の南北振動に加え、冬季モンスーン強度変動、夏季モンスーンフロント変動、または冬季の高緯度における降雨量の変動を示していると考えられる。すなわち日射量極小（極大）期には、冬季モンスーンの強化による強風の頻度の増加か、もしくは夏季モンスーンフロントが後退したか冬季の高緯度における降雨量が減少したことでシベリア～中国東北部が一年を通じて乾燥化（湿潤化）し、シベリア～中国東北部からの風成塵フラックスが増加（減少）した、一方偏西風は現在よりも南下（北上）してタクラマカン砂漠～中国黄土高原からの風成塵フラックスが減少（増加）したと考えられる（図1）。

一方、千年スケールでの風成塵供給源、粒径、その南北差の変動は、オービタルスケールでの変動同様に、偏西風ジェット軸の南北振動に加え、冬季モンスーン強度変動、夏季モンスーンフロント変動、または冬季の高緯度における降雨量の変動で説明される。すなわち氷期（亜間氷期）には、冬季モンスーンの強化による強風の頻度の増加か、もしくは夏季モンスーンフロントが後退したか冬季の高緯度における降雨量が減少したことでシベリア～中国東北部が一年を通じて乾燥化（湿潤化）し、シベリア～中国東北部からの風成塵フラックスが増加（減少）した、一方偏西風は現在よりも南下（北上）してタクラマカン砂漠～中国黄土高原からの風成塵フラックスが減少（増加）したと考えられる（図1）。

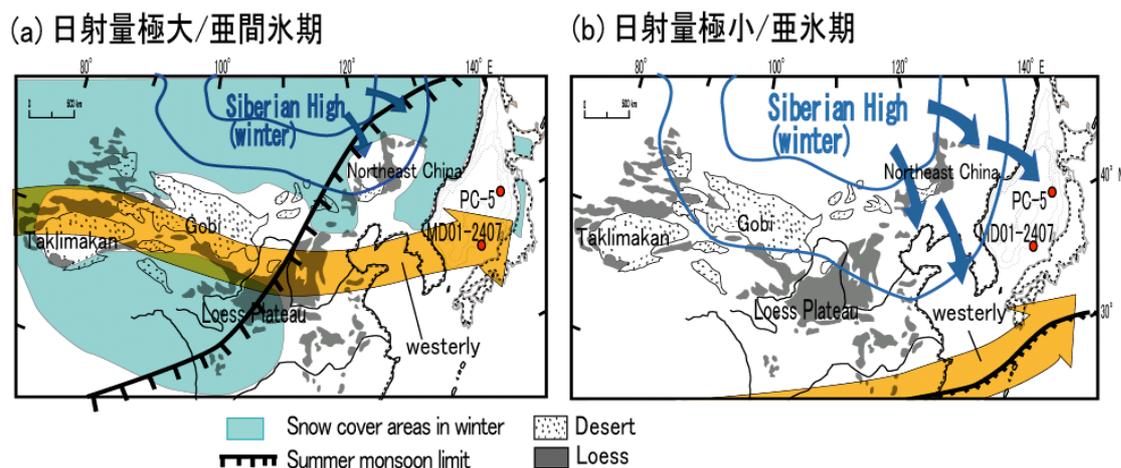


図1. オービタルスケールおよび千年スケールでの風成塵供給源、粒径、フラックス変動の解釈

- (a) 日射量極大期および亜間氷期における風成塵指標の変動は、偏西風ジェットの北上に加え、冬季モンスーンの弱体化、夏季モンスーンフロントの前進、または冬季の降雨量の増加で説明される。
- (b) 日射量極小期および氷期における風成塵指標の変動は、偏西風ジェットの南下に加え、冬季モンスーンの強化、夏季モンスーンフロントの後退、または冬季の降雨量の減少で説明される。