九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

黄砂の長期変動と気候因子との関連性についての数値的研究

原, 由香里
九州大学総合理工学府大気海洋環境システム学専攻

鵜野, 伊津志
九州大学応用力学研究所

https://doi.org/10.15017/14544

出版情報：九州大学大学院総合理工学報告. 27 (2), pp.241-249, 2005-09. Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University
バージョン：
権利関係：

KYUSHU UNIVERSITY

九州大学大学院総合理工学報告
第27巻　第2号　241-249頁　平成17年9月

Engineering Sciences Report, Kyushu University
Vol.27, No.2 pp.241-249, SEP. 2005

黄砂の長期変動と気候因子との関連性についての数値的研究

原　由香里*1†・鵜野　伊津志*2

(平成17年7月29日　受理)

Numerical study on Relationship between Long term variation of Asian Dust Storm and Climate factors

Yukari HARA, Itsushi UNO
†E-mail of corresponding author: *yhara@riam.kyushu-u.ac.jp*

To clarify the climate factors affecting inter-annual variation of dust storm, we simulate Asian dust transport over the springtime of 33-year with a regional-scale dust transport model. We found that dust emission was strongly correlated with Asian Polar Mid-latitude Index (APMI) and Arctic Oscillation (AO) in March. In April, dust emission was correlated with Far Eastern Zonal Index (Fezi). We also found that the dust transport path was shifted to southward (35°N) in La Niña year, while the dust transport path shifted to northward (40°-55°N) in El Niño year. These were explained by large scale variation of westerly jet.

Keywords: dust transport model, Asian dust storm, inter annual variation, climate indices, composite analysis

1. はじめに

春季に頻発する東アジアのダストストームは、激しい年々変動を持つ。ダストストームによって大気中へ舞い上げられる黄砂は、太陽放射を散乱・吸収し、雲の凝結核となることから、地球温暖化や気候変動へのインパクトを持つ重要なエアロゾルの一つである。黄砂現象に関する観測・数値モデル研究は数多くなされているが、それらは特定のダストイベントに限られたものが多く、黄砂の長期変動に着目した研究は比較的少ない。吉野ら(2002)[1]は、中国・韓国・日本における砂塵あらしや黄砂の長期観測結果を、シベリア高気圧からの寒気の侵入と低気圧の発達という観点から説明付けている。このような寒気の侵入や低気圧の発達には、グローバルスケールの気候変動が影響していると考えられるが、黄砂の発生や輸送経路の年々変動と気候因子との関連性を明らかにした研究は未だ十分になされていない。そのため、黄砂の長期変動の将来予測という観点からこれらを明らかにすることは、非常に重要である。

本論文では、領域黄砂輸送モデルを用いて1972～2004年の33年間毎年2月20日から4月30日までを対象に黄砂の長期変動のシミュレーションを行った結果と、黄砂の発生・輸送の長期変動に影響を及ぼす気候因子について解析を行った結果を示す。

*1 大気海洋環境システム学専攻博士課程
*2 応用力学研究所

2. 黄砂輸送モデルの概要

本研究で用いたダストの輸送モデルは、米国コロラド州立大学で開発された圧縮性非静力学方程式系からなる領域気象モデルRAMS(Regional Atmospheric Modeling System, RAMS; Pielke et al. (1992)[2])のスカラー輸送オプションにダストの発生・除去（乾性沈着、湿性沈着、重力沈降）過程を組み込んだもので、RAMSとオンラインでダストの発生・輸送計算を行う。代表粒径rについての質量保存方程式は、

$$\rho_{air}\left(\frac{\partial \Phi_r}{\partial t}+u\frac{\partial \Phi_r}{\partial x}+v\frac{\partial \Phi_r}{\partial y}+w\frac{\partial \Phi_r}{\partial z}\right)=F_{source}+F_{dry}+F_{wet}+F_{grav}+F_{diff} \quad (1)$$

と書ける。ここでΦ_rは粒径rのダスト粒子の質量混合比(kg_{dust}/kg_{air})であり、F_{source}、F_{dry}、F_{wet}、F_{grav}、F_{diff}はそれぞれ粒径毎に発生、乾性沈着、湿性沈着、重力沈降、乱流拡散項を示す。ダスト輸送モデルの詳細は鵜野ら(2003)[3]に既に報告されている。このモデルはその後、Uno et al. (2003)[4]により、より多くのエアロゾル粒子を扱うことが可能な化学天気予報モデル

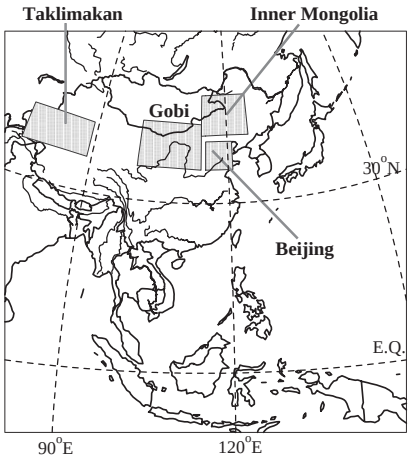

Fig.1 Simulation domain. Gray color region in figure are used to compare model results with SYNOP observation data.

(Chemical Weather Forecast System;CFORS)として拡張された。本論文ではCFORSを用い、12粒径(半径1-20μm)に分類されたダスト計算結果を利用する。

計算対象領域はポーラーステレオ座標系で115°E、25°Nを中心とした100×90格子(Δx=Δy=80km)の鉛直23層(上空23kmまで)であり、**Fig.1**に示す。RAMSの初期化と連続的ナッジングのための境界条件はヨーロッパ中期予報センター(ECMWF)の６時間毎、水平解像度緯度経度2.5度、40年再解析(ERA40)の気象データを用いた。より詳細な記述は原ら(2004)[5]を参照されたい。

3. 黄砂の長期観測データ

黄砂の長期的な観測データは非常に少ない。最も古くから行われている観測は、目視による観測であり、本論文では中国、韓国、日本における目視黄砂観測データを用いてモデル結果の検証を行う。日本については各気象官署における視程が10km未満となった黄砂日数を、韓国については全ほか(2002)[6]による報告データをそのまま利用し黄砂日数と定義した。一方、中国では、黄砂現象をDust storm(DS:砂塵風)、Blowing dust(BD:揚砂)、Floating dust(FD:浮塵)の3種類に分けて観測回数の統計を行っており、これらを解析に用いた。これらの区分の詳細については吉野[7]参照のこと。

4. 観測とモデル結果の検証

4.1 黄砂の長期変動

Fig.2に中国のa)ゴビ、b)タクラマカン、c)内蒙古、d)北京領域における観測とモデルによる3月と4月の積算黄砂日数を示す(解析領域はそれぞれ**Fig.1**に示す)。観測結果はグレースケールの濃淡を用いて色の薄い方からTotal(DS+BD+FD)、DS+BD、DSの3種類を示している。図中の丸印付実線はモデル結果を示しており、ダストの消散係数から視程を見積もり、各グリッドの視程が10km以下となった日数を積算した。詳細については、原ら(2004)[5]参照のこと。**Fig.2**から、ゴビ砂漠においては70年代前半を除いて、BDとDSの和とモデルの黄砂日数の経年変動の間に良い一致が見られる。そして、70年末から97年頃にかけて黄砂日数の長期的変動は明らかに減少傾向で、97年から近年にかけては増加傾向にあることがわかる。一方、タクラマカン砂漠領域においては観測されるダスト現象の5割以上がFDであり、FDの長期的変動は減少傾向にあることがわかる。70年代を除き、モデル結果はDSの変動に類似している。モデル結果は各グリッドが視程10km以下となった場合にのみ黄砂日数をカウントしているが、無風或いは風力の比較的弱い状況で砂塵が空中に浮遊しているような現象(FD)を現在のモデルは十分に表現していないので、モデルと観測に差が見られる。ま

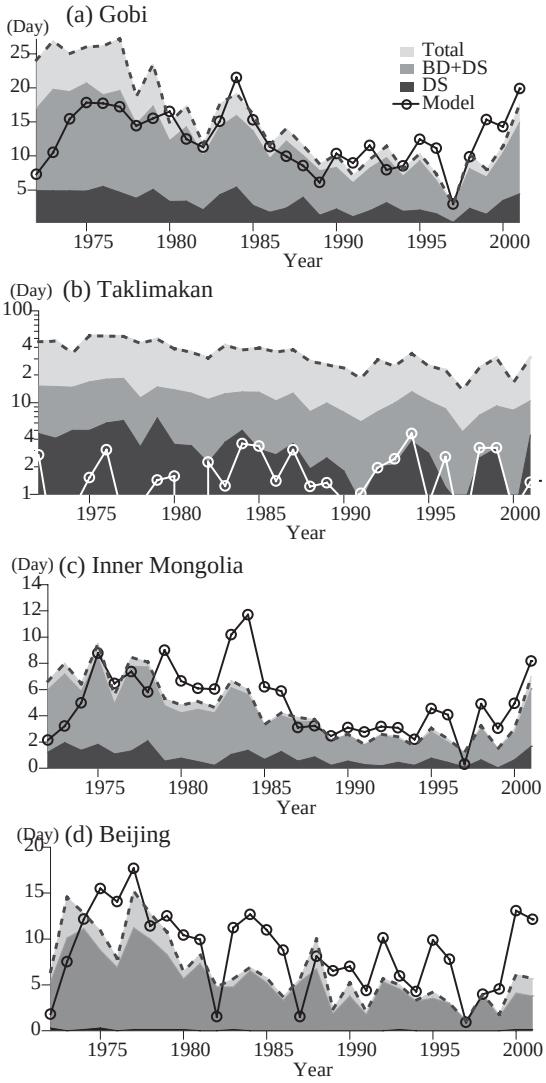

Fig.2 Comparison of modeled dust days with observed dust phenomena (Dust storm;DS, Blowing dust;BD, Floating dust;FD) for four station in China in spring (March and April) from 1972 to 2004.

た、内蒙古や北京領域では、黄砂日数の経年変動はゴビ砂漠領域の変動に類似しているが、70年代から97年にかけての減少傾向はよりなだらかである。内蒙古では97年から01年にかけての増加傾向が顕著である。モデル結果と目視による観測結果の定量的な比較は困難であるが、観測された黄砂現象の長期的変動の特徴はモデル結果によって比較的良く再現されていることがわかる。

次に、**Fig.3**に発生源の風下域である韓国と日本における観測とモデルによる3月と4月の積算黄砂日数を示す。棒が観測結果、丸印付実線がモデルによる結果を示す。これらの比較より、モデル結果は黄砂日数の経年変動を概ね良く再現していることがわかる。また、中国のゴビ砂漠領域で見られた黄砂日数の減少傾向は明瞭でなく、近年の増加が著しい。

以上のことから、中国の発生源域においては、70年代から97年にかけての黄砂現象の減少傾向が顕著であるが、日本や韓国においてはむしろ近年の増加傾向が顕著であることがわかる。風下域では、原ら(2004)[5]で示したように、黄砂の輸送高度や経路により、発生源域の長期変動と異なる変動を示すと考えられる。

4.2 発生源域の気象場の長期変動

4.1節で発生源域と風下域の黄砂の長期変動の特徴が明らかになった。本節では発生源域の黄砂現象と気象場の関係を明らかにする。

Fig.4にゴビ領域のモデル最下層の気温、相対湿度、強風発生頻度の偏差の経年変化を示す。ここで、偏差とは各年の平均値から33年間の平均値の差をとったもの定義する。また、強風発生頻度とは、Kurosaki and Mikami (2003)[9]により、

強風発生頻度 ＝

地上風速が6.5(m/s)を超えた回数/全観測回数 (2)

で定義される。これらの図から、70年代から97年頃にかけてゴビ砂漠領域の強風発生頻度が減少しており、これが同時期のゴビ砂漠域の黄砂日数が減少していた主な原因であると考えられる。逆に、相対湿度は強風発生頻度と逆相関の関係にあり、70年代後半から97年にかけて増加傾向が見られる。気温については、強風発生頻度と弱い逆相関関係にあり、90年代後半から温度上昇が見られる。

次に、**Fig.5**にゴビ砂漠領域(95°-110°E)を通る子午面におけるモデル最下層の(a)相対湿度、(b)ダスト濃度、(c)気温の偏差を示す。ダスト濃度と共に描かれているベクトルは風速の偏差を示す。これらの図から、高ダスト濃度である年の特徴として、西風の強風が見られると共に、30°-45°Nの範囲で相対湿度の低偏差と、40°-55°Nの範囲で気温の低偏差が見られる。反対に、

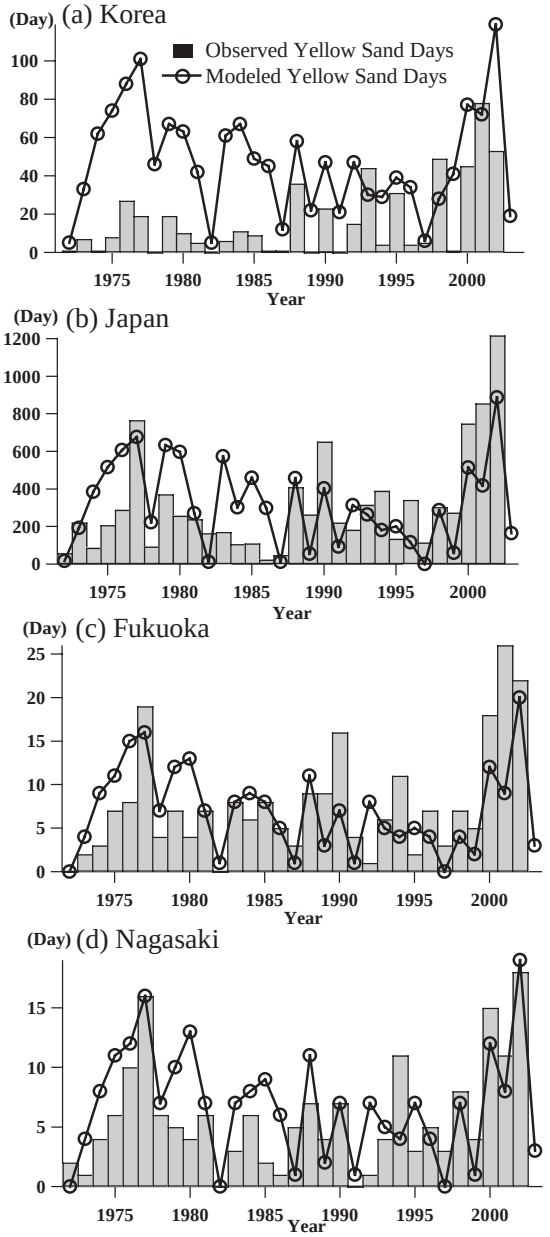

Fig.3 Comparison of modeled dust days with observed dust days in Korea and Japan in spring (March and April) from 1972 to 2004.

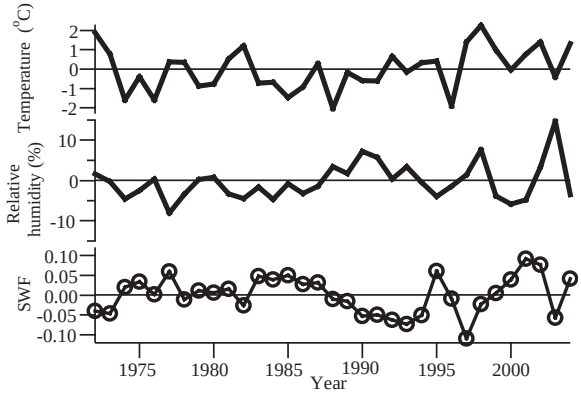

Fig.4 Time variations of modeled anomaly for temperature (°C), relative humidity (%) and strong wind frequency (SWF) in surface layer at Gobi desert region (March and April).

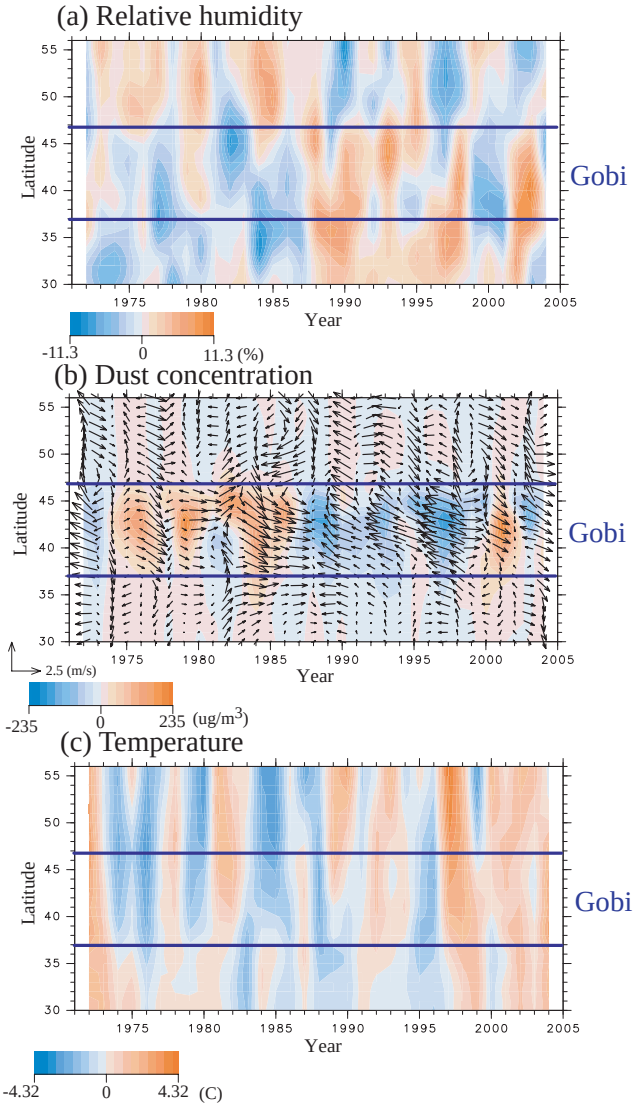

Fig.5 Time variation of modeled anomaly for (a)relative humidity(%), (b)dust concentration(μg/m³), (c)temperature(°C) in surface layer in meridional cross section through Gobi desert averaged zonally from 95° to 110°E.

低ダスト濃度である年の特徴として、東風の偏差が見られ、相対湿度の高偏差と、気温の高偏差が見られる。相対湿度については30°-45°Nで、気温についてはより高緯度での変動が、ダスト濃度と逆相関関係にあることに注意されたい。一般的に低温で乾燥しているのは大陸性寒帯気団の特徴であり、寒気の影響がより卓越する場合にダストの発生量が高まり、南からの温かい湿った気団の影響が卓越する場合にダストの発生量は少ないという特徴が**Fig.5**から明らかである。

5. 気候インデックスと黄砂現象の関係

5.1 気候インデックス

前節で明らかとなった黄砂現象の経年変動とグローバルスケールの気候因子との関連性を明らかにするために、様々な気候インデックスを用いてダストの発生量や地上ダスト濃度と相関解析を行った。ここで、用いた気候インデックスについて**Table 1**にまとめる。ここで、インデックス Aはアジア域を対象として作成されたインデックスであり、インデックス Bはより広範囲を対象にしたグローバルなインデックスである。インデックス AはECMWFのERA40データのジオポテンシャル高度を用いて作成し、インデックス Bはそれぞれhttp://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/に掲載されているものを利用した。

5.2 相関解析ー発生過程

Table 2に3月と４月のダスト発生量の偏差と同時期の各インデックスの相関係数を示す。全データ数(n=33)から計算した95%有意な相関係数は|R|>0.380であり、有意である値にはアスタリスク(*)を使用した。**Table 2**から、ダストの発生量と高い相関を示すインデックスは3月と4月では異なることがわかる。3月のゴビ砂漠域のダスト発生量は極渦指数(PVI)、アジア極中緯度指数(APMI)、北極振動指数(AO)と高い相関を示す。

Table 1 Description of climate indices.

	Indices	Description
A	Asian Polar Mid-latitude Index (APMI)	Difference of 500hPa Geopotential height anomalies between 50°N and 80°N averaged from 90°E to 130°E. Positive → Geopotential height of mid-latitude is exceeded. Negative → Geopotential height of North pole is exceeded.
	Polar Vortex Index (PVI)	Sum of 500hPa geopotential height anomalies at 70°N and at 80°N averaged from 90°E to 170°E. Positive→Flow out of cold air. Nagative→ Storage of cold air.
	Far Eastern Zonal Index (Fezi)	Difference of 500hPa Geopotential height anomalies between 30°N and 50°N averaged from 90°E to 130°E. Positive → Zonal flow is predominant. Negative→Meridional flow is predominant.
B	Arctic Oscillation (AO)	The leading Empirical Orthogonal Function of Sea Level Pressure poleward of 20°N.
	Southern Oscillation Index (SOI)	Difference of Standardized Sea Level Pressure between Tahiti and Darwin.
	Pacific Decadal Oscillation (PDO)	The leading principal component of monthly SST anomalies in the North Pacific Ocean.

Fig.6(a)に、3月において最も相関係数が高かったAPMIとダスト発生量の偏差について経年変化を示す。**Fig.6(a)**右図は、3月のAPMIとダスト発生量の散布図を示しており、El NiñoとLa Niñaであった年はそれぞれ、灰色と黒丸で識別している。両者の間には明らかな負の相関が見られる(APMI負→ダスト増)。APMIは90°-130°Eの中緯度(50°N)と極域(80°N)のジオポテンシャル高度偏差の差を示しており、指数が負の場合、中緯度の方が極域よりも偏差が低いパターンを表している。また、極渦指数(PVI)は極域の寒気の蓄積度を調べるインデックスであり、指数が正であれば極域から寒気が放出されている状態を表している。3月の極渦指数とAPMIは-0.813の高い負の相関があることから、APMIが負指数である場合には、極渦指数は正指数となる傾向があり、極域から中緯度への寒気の吹き出しが強い状態にあることになる。すなわち、3月は極域の寒気の吹き出しに関連する低気圧の発生・発達によって強風発生頻度が高まり、結果的にダストの発生量が高まるというメカニズムが示された。3月のAPMIは、70年代から97年にかけて増加しており、中緯度への寒気の流入活動が低下した状態にあったことがわかる。よって、発生源付近の黄砂日数の長期的減少には、3月の寒気の侵入の減少が関連していたことが示唆された。

一方、4月のダストの発生量は東西指数(Fezi)と高い正の相関を示す(**Table 2**、**Fig.6(b)**)。一般的に気象庁が定めている東西指数は40°Nと60°Nの500hPaの高度差であるが、30°Nと50°Nの500hPa高度差から指数を作成した場合にダストの発生量と指数が最も高い相関を示したため、独自の高度差を採用した。これは、ダストの主な発生源であるゴビ砂漠が35°-45°Nに位置していることと関連しているためである。3月に強い関連を示した極域の寒気の吹き出しに関する指数との相関は低くなり、ゴビ砂漠域を挟む30°Nと50°N間の傾圧性が強い場合にダストの発生量が高まることが示された。しかし、**Fig.6(b)**の散布図に示したように、La Niñaの年は東西指数が負指数の場合でもダストの発生量が多くなる傾向が見られた。

3月から4月にかけては、冬季の循環場から夏季の循環場に移行する過渡期である。3月と4月でダスト発生量と高い相関を示すインデックスが異なる理由として、3月においては冬季の極の寒気と低気圧の発生・発達が強く関連しているのに対し、4月においては東西指数が30°-50°Nの低気圧活動の活発さと強く関連しているためであると考えられる。しかし、総観規模の気象学的メカニズムについては今後さらに解析が必要であろう。

5.3 相関解析－輸送過程

Fig.7にダストの発生量やモデル最下層のダスト濃度の偏差と各気候インデックスの相関係数を各グリッドについて計算し、水平プロットしたものを示す。(a)は3月、(b)は4月のモデル結果についての解析で、左列がダスト発生量について、右列がダスト濃度についての解析結果である。3月(**Fig.7(a)**)においてゴビ砂漠西部を中心にAPMIはダスト発生量と高い負の相関を示している。その為、地上ダスト濃度とAPMIの相関係数も、日本全域を含む広い風下域で負の相関を示す。一方、東西指数はゴビ砂漠の西域で、SOIはゴビ砂漠

Table 2 Correlation coefficient between modeled dust emission over Gobi desert and climate indices.

	PVI	APMI	Fezi	AO	SOI	PDO
Dust Emission (March)	**0.453***	**-0.561***	0.387	**-0.421***	0.329	-0.158
Dust Emission (April)	-0.033	-0.218	**0.624***	-0.252	0.156	0.185

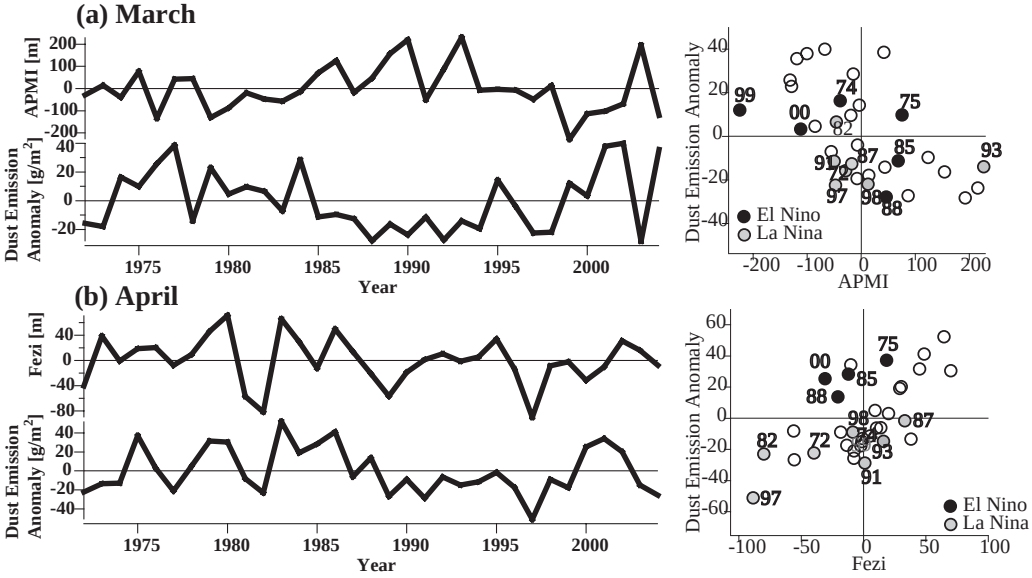

Fig.6 Correlation of modeled dust emission (g/m²) over Gobi desert with (a) APMI in March and (b) Fezi in April from 1972 to 2004. El Niño event is marked with black circles and La Niña event is marked with gray circles.

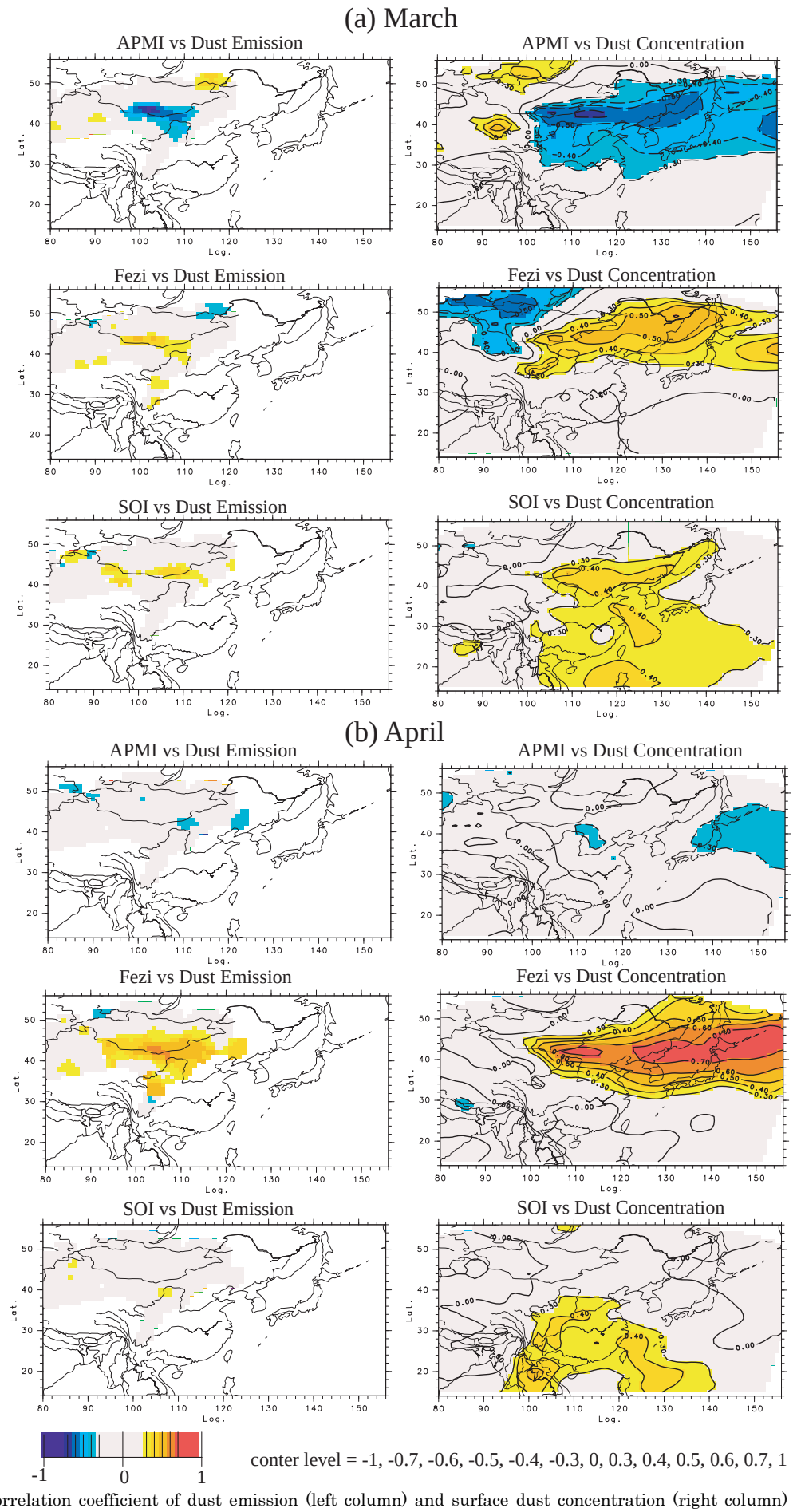

Fig.7 Correlation coefficient of dust emission (left column) and surface dust concentration (right column) with climate indices (APMI, Fezi and SOI).

東部でダスト発生量と弱い正の相関を示す。しかし、東西指数とSOIの地上ダスト濃度との相関係数については、高い相関を示す領域がそれぞれ異なる。東西指数については35°N以北の風下域において、一方、SOIについては、40°N以南の風下域において弱い正の相関を示す。

4月(**Fig.7(b)**)については、5.2節で見たようにAPMIとダスト発生量の負の相関は弱くなり、東西指数がゴビ砂漠全域でダスト発生量と高い正の相関を示す。そのため、45°Nを中心とした風下域において、東西指数は地上ダスト濃度と高い正の相関を示す。また、SOIはダスト発生量と全く相関を示さなくなるが、地上ダスト濃度とは40°N以南の風下域において弱い正の相関を示す。SOIは、ダストの発生自体には強い相関を示さないにもかかわらず、地上ダスト濃度の変動と相関関係を示す点において、輸送に影響を与える気候インデックスとして、注目すべき因子と考えられる。SOIが正、つまりLa Niña時に40°N以南でダスト濃度が高まる傾向が示唆されており、次節でLa Niña-El Niñoとダストの輸送の関係について解析結果を示す。

6. La Niña–El Niño とダストの輸送過程

5.3節においてSOIとダストの輸送についての関連が示唆されたことから、La Niña-El Niñoとダスト輸送経路の特徴についてこの節で解析を行う。まず、Fig.8(a)にLa Niñaであった2000年の130°Eにおけるダスト輸送フラックスを、(b)にEl Niñoであった1998年のダスト輸送フラックスを示す。2000年のダストの輸送フラックスの特徴として、35°Nを中心に輸送フラックスのピークが見られ、1998年の特徴として45°Nを中心とした輸送フラックスのピークが見られる。主なダストの発生源であるゴビ砂漠は40°N辺りに位置していることから、(a)2000年は南輸送経路であり、(b)1998年は北輸送経路という対照的な輸送経路であったことがわかる。

次に、1972-2004年の33年間の中から、El Niño(72,82,87,91,93,98)、La Niña(74,75,85,88,99,00)の年をそれぞれ抽出し、La Niña年の平均ダスト輸送フラックスからEl Niño年の平均ダスト輸送フラックスの差をとり、コンポジット解析を行ったものが**Fig.8(c)**である。(a)と(b)で見たように、(c)においてもLa Niña年には35°N辺りを中心に輸送フラックスのピークが見られ、El Niño時には40°-55°Nの高緯度域で輸送フラックスのピークが見られる。また、La Niña年の方が、輸送フラックスのピークの絶対値が大きく、輸送フラックスの絶対量はLa Niña年が上回っていることがわかる。このような特徴的な輸送経路をとる原因を明らかにするために、**Fig.8(d)**に示すように、モデル結果より得られた風速を用いてLa Niña-El Niñoに対する130°E断面のコンポジット解析を行った。**Fig.8(d)**から、La Niña年には高度6-10km、25°-40°Nの領域で偏西風の強まりが見られ、El Niño 年には高度6-10km、40°-55°Nの高緯度側で偏西風の強まりが見られた。低気圧は偏西風によって駆動されるため、このような偏西風の位置の変動により、La Niña年とEl Niño年では輸送経路が異なると考えられる。

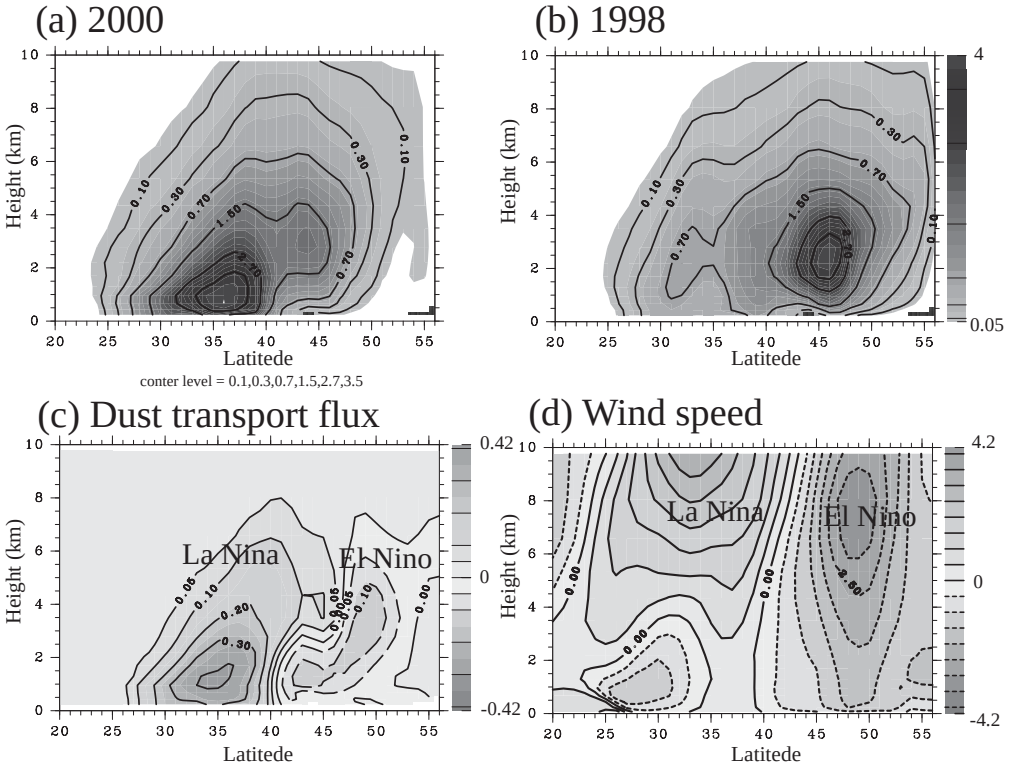

Fig.8 Meridional cross section of dust transport flux in (a) year 2000 (La Niña) and (b) year 1998 (El Niño) at 130°E. (c) Dust transport flux anomaly and (d) wind speed anomaly between La Niña (74,75,85,88,99,00) and El Niño (72,82,87,91,93,98) at 130°E.

7. ダストの発生・輸送に関連する気候因子の総観気象場の特徴

5節でダストの発生や輸送経路に関連する気候インデックスが明らかになった。それらのインデックスがダスト現象に影響を及ぼすフェーズについての総観規模の循環場の特徴を明らかにするため、ECMWFのERA40データを用いて500hPaのジオポテンシャル高度のコンポジット解析を行った。**Fig.9**に(a)負のAPMI、(b) 正のFezi、(c)La Niñaの場合についてのコンポジットを示す(添え字1､2は3月と4月についてのコンポジットをそれぞれ示す)。ベクトルは風速偏差(m/s)を示す。3月のAPMIが負である場合(a.1)、特徴として極域では高気圧性循環が見られ、ゴビ砂漠を含む中緯度域では帯状の低気圧性循環が見られる。一方、3月の東西指数が正である場合(b.1)、(a.1)と同様の特徴が見られ、両者とも極域と赤道域の高度偏差のコントラストが大きい。両者の異なる特徴としては、(a.1)は、極域からの風の流れ出しがより鮮明で、アリューシャン低気圧もより鮮明に現れている。

続いて、4月についても、(a.2)(b.2)共に類似したコンポジットパターンを示しており、極域の高気圧性循環と中緯度域の低気圧性循環が見られるものの、その低気圧性循環の分布がゴビ砂漠域で若干異なる。(a.2)ではゴビ砂漠域で低気圧性循環が見られるものの、傾圧性は低い。(b.2)ではゴビ砂漠西部の高気圧性循環が南へ張り出しており、ゴビ砂漠の真北の低気圧性循環との関係から、傾圧性が高い。また(b.2)はアリューシャン低気圧がより鮮明である。

以上をまとめると､3月においては極域で寒気放出の状態にあることが重要であり､3月のAPMIによるコンポジットは、東西指数によるコンポジットよりも極域の寒気の流れ出しを鮮明に捉えており､4月の東西指数によるコンポジットはAPMIによるコンポジットよりもゴビ砂漠域の低気圧偏差を鮮明に表現している。

最後に、(c)にLa Niña時の高度と風速のコンポジットを示す。極域で高気圧性循環、ゴビ砂漠上の低気圧性循環は南へ伸びている。ここでは図示しないが、200hPa高度の偏西風は30°-40°Nの砂漠域や赤道域で低気圧性循環を示しているのが特徴で、オホーツク海上で高気圧性循環が卓越しているために、120°-150°Eの領域で強化されており、La Niña時には比較的低緯度で偏西風が強化されることが明らかとな

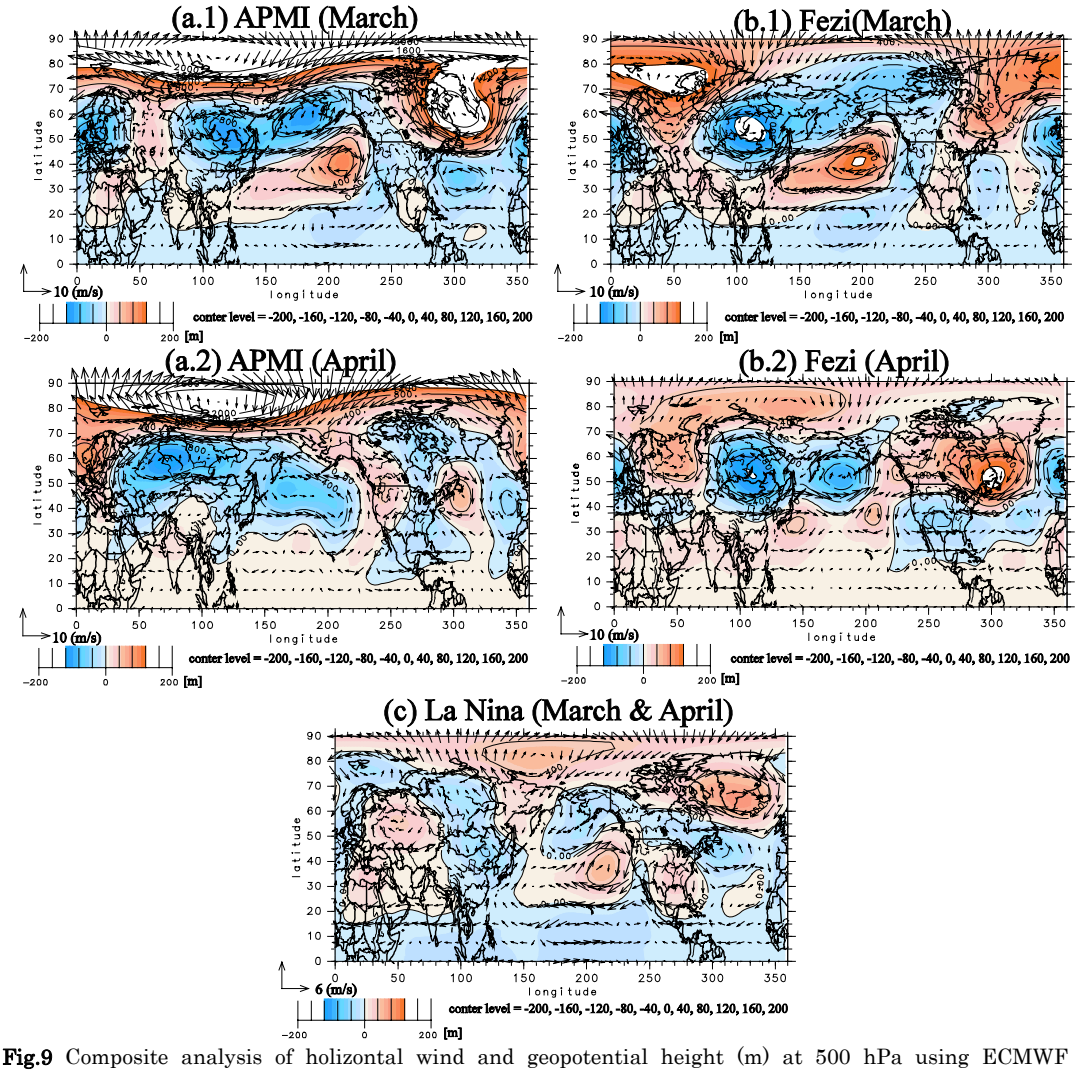

Fig.9 Composite analysis of holizontal wind and geopotential height (m) at 500 hPa using ECMWF reanalysis data for (a) APMI, (b) Fezi and (c) La Niña. 1 means for March and 2 means for April.

った。そのため、6節でみたような輸送経路の変動が起こると考えられる。

8. 結論と今後の展望

本論文では、領域黄砂輸送モデルを用いて、1972～2004年の33年の春季(2月20日から4月30日)を対象に黄砂の発生・輸送シミュレーションを行った。中国・韓国・日本における長期的な砂塵あらしや黄砂観測データとモデル結果の検証を行い、黄砂の長期変動と気象・気候因子との関連性について、解析を行った結果、以下の点が明らかにされた。

1) 観測とモデル結果の比較から、モデル結果は黄砂の長期的変動を概ね再現していることが確認された。中国においては70年代から97年にかけての黄砂現象(砂塵風、揚砂)の減少傾向が顕著であり、風下域である韓国や日本では近年の黄砂日数の増加傾向が顕著であった。
2) 発生源域で地上ダスト濃度が33年平均値よりも高い年の気象場の特徴として、低温・乾燥傾向が見られた。
3) 様々な気候インデックスとゴビ砂漠域のダスト発生量の相関解析から、3月は中緯度と(50°N)と極域(80°N)の傾圧性を示すAPMIとダスト発生量との強い負の相関が示され、4月はゴビ砂漠を挟む中緯度(30°N-50°N)の傾圧性を示す東西指数とダスト発生量との強い正の相関が示された。
4) 地上濃度と気候インデックスとの相関解析から、南方振動数を示す SOI は発生量自体には強い相関を示さないにもかかわらず、40°N 以南の風下領域において正の相関を示すことから、ダストの輸送に影響を及ぼす因子であると考えられた。130°E 断面におけるダスト輸送フラックスの La Niña -El Niño のコンポジット解析から、La Niña 年には 35°N を中心に輸送フラックスのピークが見られ、El Niño 年には 40°-55°N の高緯度域で輸送フラックスのピークが見られた。これは、偏西風の位置の移動が原因であることが示唆された。
5) ジオポテンシャル高度のコンポジット解析から、3月は APMI を用いた場合に極からの寒気の吹き出しとゴビ砂漠域の低気圧性循環とアリューシャン低気圧が鮮明に示され、4 月は東西指数を用いた場合にゴビ砂漠域の低気圧性循環とアリューシャン低気圧が鮮明に示された。また、La Niña 年にはオホーツク海上で高気圧性循環が卓越するために、ゴビ砂漠域の低気圧性循環が南へ伸び、200hPa 高度の偏西風は 30°-40°N の領域で強まることが明らかとなった。その結果、ダストの輸送経路の変動が起こると考えられる。

近年の温暖化数値実験から、温暖化した場合に北極振動指数(AO)が正のフェーズにシフトしてゆくという数値解析結果が得られており(山崎ら(2004)[9])、3 月の黄砂現象は将来的に減少してゆく可能性がある。本論文の解析結果をさらに黄砂現象の将来予測に発展させることが重要であろう。

謝辞

中国における SYNOP データは、中国科学院大気物理研究所の王自発教授から提供していただきました。ここに記して深謝します。

参 考 文 献

1) 吉野正敏: 近年のダストストーム・黄砂の発生と気候変動, 気象環境研究会, 農環技研, 2005.
2) Pielke, R. A., W. R. Cotton, R. L. Walko, C. J. Tremback, W. A. Lyons, L. D. Grasso, M. E. Nicholls, M. D. Moran, D. A. Wesley, T. J. Lee and J. H. Copeland: A comprehensive meteorological modeling system -RAMS, Meteorol. Atmos. Phys., 49, 69-91, 1992.
3) 鵜野伊津志, 天野宏欣, 木下紀正, 荒生公雄, 村山利幸, 松井一郎: 地域気象モデルと結合した黄砂輸送モデルの開発と 1998 年 4 月の黄砂シミュレーション, 天気, 50, 17-29, 2003.
4) Uno, I., G. R. Carmichael, D. G. Streets, Y. Tang, J. J. Yienger, S. Satake, Z. Wang, J. - H. Woo, S. Guttikunda, M. Uematsu, K. Matsumoto, H. Tanimoto, K. Yoshioka, and T. Iida, Regional chemical weather forecasting system CFORS: Model descriptions and analysis of surface observations at Japanese island stations during the ACE-Asia experiment, J. Geophys. Res., 108(D23), 8668, doi:10. 1029/2002JD002845, 2003.
5) 原由香里, 佐竹晋輔, 鵜野伊津志, 竹村俊彦: 領域ダスト輸送モデルを用いた黄砂現象の年々変動シミュレーション, 天気, 51, 9-18, 2004.
6) 全映信, 金相源, 趙慶美, 金正淑: 最近 100 年間の韓国における黄砂観測日数, 地球環境, vol.7, No.2, 225-231, 2002.
7) 吉野正敏: 中国の砂塵あらしと日本の黄砂ー気象災害の観点からー, 災害の研究, 第 33 巻, 55-70, 2002.
8) Kurosaki, Y., M. Mikami: Recent frequent dust events and their relation to surface wind in East Asia, Geophys. Res. Lett., 30(14), 1736, doi:10. 1029/2003GL017261, 2003..
9) 山崎孝治編集: 北極振動, 気象ノート, 第 206 号, 2004.