

日本付近に到達する空気塊流跡線の季節変化（2）

風岡亮*・木田秀次*

* 京都大学大学院理学研究科

要旨

本研究は、2001年1月と7月に北海道と九州に到達した空気塊のバックワード流跡線について調査した。北海道と九州は、地球規模のスケールで見ると非常に近い位置関係にあるが、到達する空気塊の起源と移動経路は、両地域で大きく異なっていた。冬季において、九州に到達する空気塊は、中国北東部の上空を通過してきていた。これに対して、北海道に到達する空気塊は、シベリアの上空を東向きに移動するルートと北極海の上空から西向きに移動するルートを通ってきていた。

キーワード： 空気塊流跡線，物質輸送，大気循環

1. はじめに

空気塊は、全球規模で移動し、様々な空間と時間のスケールを持っている。これらのスケールは、大気循環の特徴に強く依存し、その知識と応用は、大気循環だけでなく、大気中の物質輸送の理解に貢献する。空気塊は、対流圏におけるエアロゾルやオゾンのような短寿命物質、または、温室効果気体のような長寿命物質を含んでいる。空気塊がある地点から別の地点に移動するまでの時間スケールが化学物質の寿命の時間スケールよりも大きくなると、その化学物質は別の化学物質に化学変化する。したがって、化学物質の起源は、その化学物質の寿命の時間スケールでみた空気塊の移動の空間スケールから決定することが出来る。

これまで、日本付近で観測される化学物質の起源を調べるために、空気塊のバックワード流跡線を用いた解析が数多くの研究者によって行われている。この中で、Mukai and Suzuki(1996)は、日本海の隠岐諸島に到達する空気塊のバックワード流跡線の特徴について調べ、冬季に到達する空気塊は、主にアジア大陸上を移動してくるのに対して、夏季に到達する空気塊は、しばしば日本列島上を移動してくる傾向にあることを見出している。一方、Rahn et al.(1989)は、冬季の日本の北部に到達する空気塊は、北極海

から移動してきたと報告している。Osada et al.(2003)は、夏季の中部日本に到達する空気塊は、中国の東岸地域からゆっくりと移動してくることを示している。これらのことからわかるように、日本の北部と南部は、全球規模でみて非常に近い位置関係にあるが(Fig.1a)、到達する空気塊の起源は異なっている。しかしながら、大気循環と日本付近に到達する空気塊の移動経路や空間・時間スケールとの関係の詳細については、これまで良くまとめられてきていない。

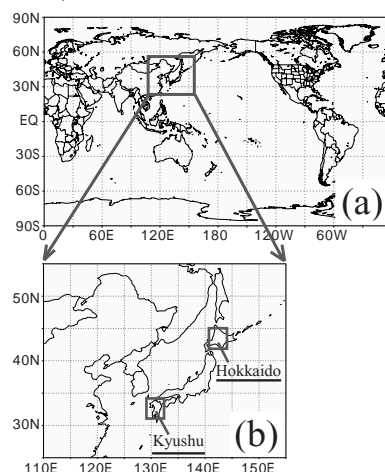


Fig. 1. (a) Global scale map and (b) location map of the Hokkaido and Kyushu regions in Japan. Trajectories of air parcels that arrived over the Hokkaido and Kyushu regions were calculated.

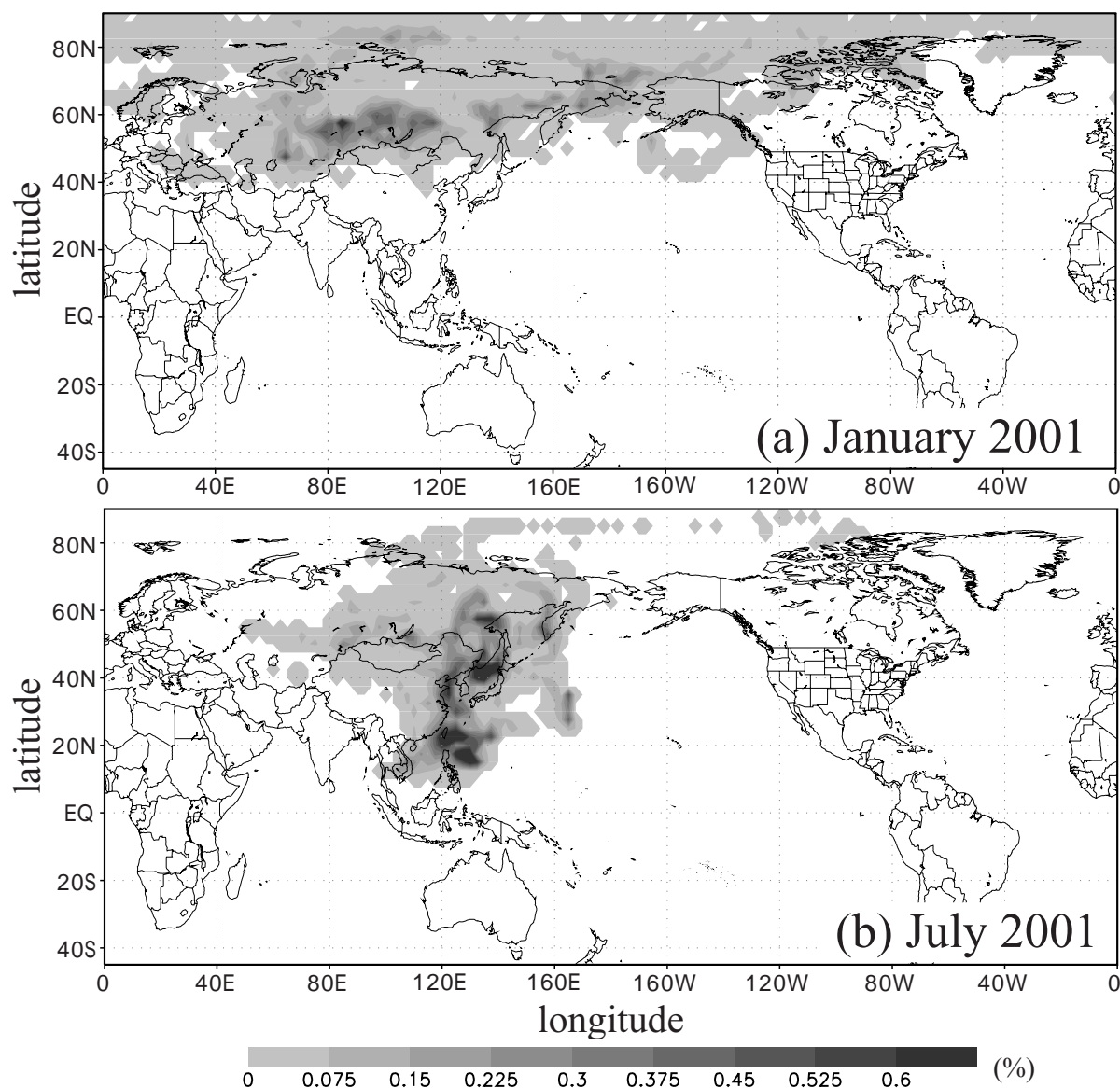


Fig. 2. Probability distributions of 7 days of backward positioning of air parcels that arrived over the Hokkaido region in (a) January, and (b) July 2001. The backward positioning of air parcels originated at the $\sigma = 0.85$ level.

2. 空気塊流跡線

本研究では、空気塊流跡線を σ 座標系 (Phillips, 1957) で計算した ($\sigma = (P - P_{top}) / (P_s - P_{top})$, P : 気圧, P_{top} : 大気上限の気圧, P_s : 地表面気圧)。空気塊流跡線の計算のために、NCEP/DOE AMIP-II reanalysis (Kanamitsu et al., 2002) のジオポテンシャル高度、地表面気圧、東西風、南北風、および鉛直P速度の格子点データを使用した。この再解析データは、2.5度グリッドの水平解像度、約2kmの鉛直解像度、および6時間の時間解像度を持つ。空間と時間の線形補間を用いながら、空気塊の位置を1時間毎に繰り返し計算した。 σ 鉛直速度は、鉛直P速度、地表面気圧、および地表付近の東西風と南北風データから求めた。また、流跡線計算領域の上部境界を10hpa

面として、空気塊がこの面を通過しないような境界条件を与えた。

日本の北部と南部の地域に到達する空気塊の特徴の違いを調べるために、2001年に北海道 (42-45N, 141-144E) と九州 (31-34N, 129-132E) の領域内上空 (Fig.1b) に到達した100個の空気塊のバックワード流跡線について計算した。これらの二つの領域内の上空 $\sigma = 0.85$ (おおよそ高度1400-1500m) に空気塊100個を緯度・経度方向に異なる場所に配置させ、1日4回 (00UTC, 06UTC, 12UTC, および18UTC) について調べた。もし、空気塊の σ レベルが0.99を超えた場合、空気塊の移動を追跡する計算をストップさせる。

対流圏におけるエアロゾルやオゾン、約7日間の寿命を持つとされている (Holloway et al., 2003)。こ

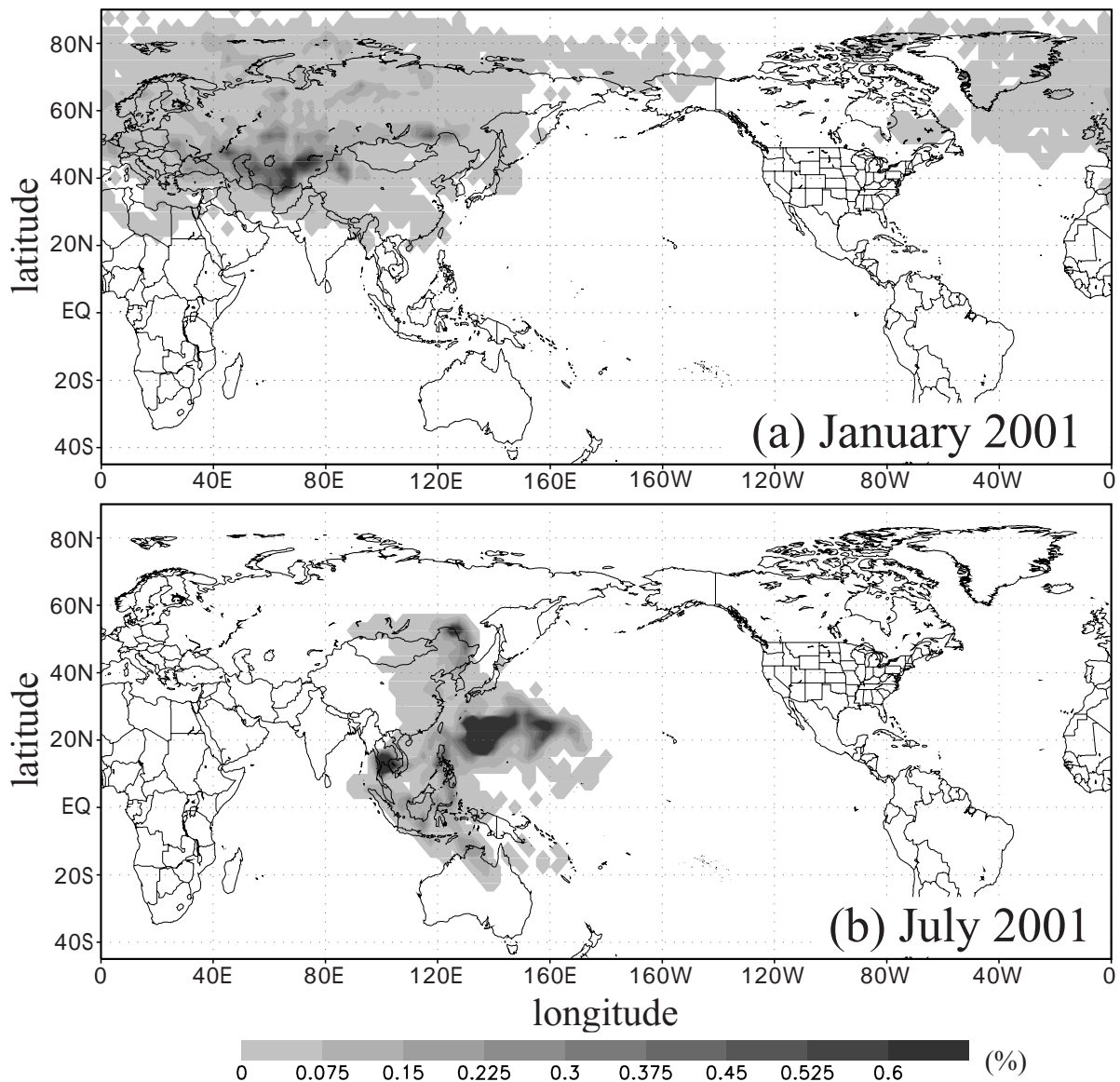


Fig. 3. The same as in Fig.2, except for the Kyushu region.

のような比較的寿命の短い物質の起源と輸送経路を理解するために、7日間の空気塊の移動について解析した。本研究では、北海道に到達する空気塊を北海道エア、九州に到達する空気塊を九州エアと名付ける。

3. 結果

3.1 空気塊のバックワードポジション

印を付けられた空気塊のバックワードポジションは、緯度経度2.5度×2.5度のグリッド上で見積られる。確率は、ある一つのグリッドポイント上における空気塊のカラムの個数を一ヶ月間に北海道、または九州の上空に到達する空気塊のトータルの個数で除したものである。

Fig. 2は、北海道エアの7日前のバックワードポ

ジションの確率分布を示したものである。この図から、北海道に到達する空気塊のバックワードポジションの特徴は、冬季(Fig. 2a)と夏季(Fig. 2b)で大きく異なっていることが見出される。冬季の北海道エアの起源は、ユーラシア北部と北極海であるが、アジアや北アメリカではないことがわかる。一方、夏季に北海道に到達する空気塊は、東シベリアや東シナ海から移動してきている。確率は、ユーラシア大陸の東岸で比較的高い。

九州エアの起源の確率分布は、Fig. 3に示すとおりである。冬季において、九州に到達する空気塊の起源は、主にユーラシア大陸上であり、北極海やアメリカの北側ではないことがわかる(Fig. 3a)。夏季の空気塊は、中国東部、東南アジア、および太平洋北西部を起源としている(Fig. 3b)。いくつかの空気塊は、赤道を横切っていた。北海道の場合と同様に、

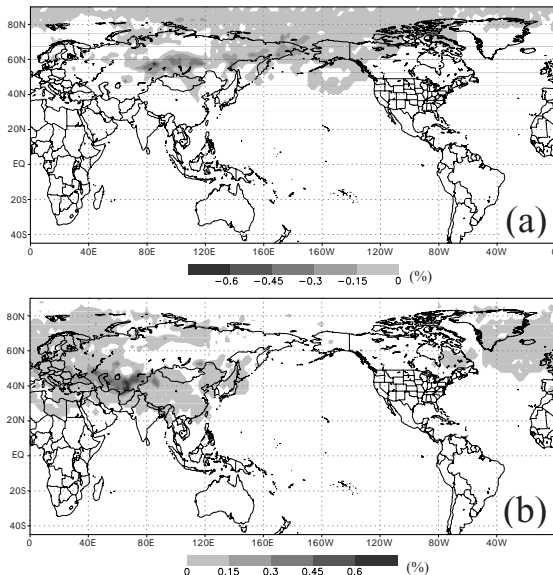


Fig. 4. The differences in the probability distributions of the 7 day backward positioning of air parcels between Hokkaido and Kyushu (the probability for Kyushu air minus the probability for Hokkaido air). Negative and positive differences for January 2001 are shown in (a) and (b), respectively.

冬季と夏季に九州に到達する空気塊のバックワードポジションの特徴に違いが認められた。

Fig. 4は、冬季における北海道エアと九州エアのバックワードポジションの確率分布の差（九州エアの確率 - 北海道エアの確率）をあらわしたものである。Fig. 4aの分布は、北海道エアの確率が九州エアの確率よりも大きい（確率の差が負）地域を示している。冬季において、差が負の地域は、シベリア、北極海、およびアラスカである。一方、差が正の地域 (Fig. 4b) は、中央アジア、中国、ヨーロッパ、および北大西洋である。

Fig. 5は、夏季の特徴について示したものである。夏季において、差が負の地域 (Fig. 5a) は、シベリア東部や中国の東岸である。また、Fig. 5bから、太平洋北西部と東南アジアにおいて、九州エアの確率が、北海道エアの確率よりも大きいことが読み取れる。

3.2 空気塊のバックワード流跡線

北海道と九州に到達する空気塊の起源の違いを調べるために、空気塊のバックワード流跡線の特徴について調査した。緯度経度2.5度×2.5度のグリッド上を通過した空気塊流跡線の本数をカラムでカウントした。バックワード流跡線の確率は、ある一つのグリッドポイント上の空気塊流跡線の本数を一ヶ月間に北海道、または九州に到達する空気塊のトータ

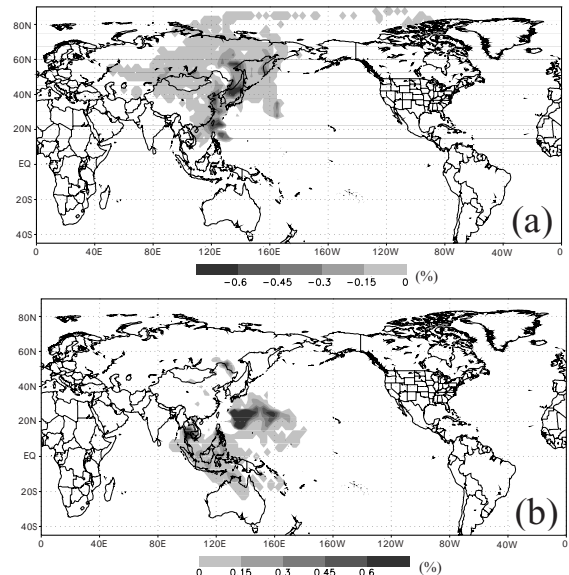


Fig. 5. The same as in Fig. 4, except for July 2001.

ルの個数で除したものである。

Fig. 6は、2001年1月に北海道と九州の上空に到達した空気塊のバックワード流跡線の確率分布である。北海道に到達する空気塊は、主に二つのルートを通ってきている。シベリアルートに加えて、北極海から北海道へ西向きに移動するルート（カムチャッカルート）が存在する。これに対して、九州エアのバックワード流跡線の確率は、中国、モンゴル、および中央アジアで高い（モンゴル-九州ルート）。Fig. 8は、2001年の1月に九州の上空に到達した空気塊の6日間のバックワードポジションの確率分布を1日毎にみたものである。ヨーロッパを起源とする九州エアは、九州に到達する2日前にモンゴル西部上空に位置し、5日前にヨーロッパ北部上空に位置している。ヨーロッパ起源の空気塊もモンゴル-九州ルートを移動してきている。これらのことから、冬季の九州エアは、高い確率でモンゴル-九州ルートを通ってきており、この九州エアのルートは、北海道エアのルートと大きく異なっている。

2001年7月の北海道エアと九州エアのバックワード流跡線の確率分布は、Fig. 7に示すとおりである。この図から、夏季の北海道エアと九州エアの移動経路に顕著な違いが認められる。北海道エアの移動は、オホーツク海（オホーツクルート）、東シベリア（東シベリアルート）、および中国東岸（中国海岸ルート）で起きている。九州に到達する空気塊は、主に東シナ海を通過し、西太平洋（太平洋ルート）と東南アジア（東南アジアルート）から移動してきている。

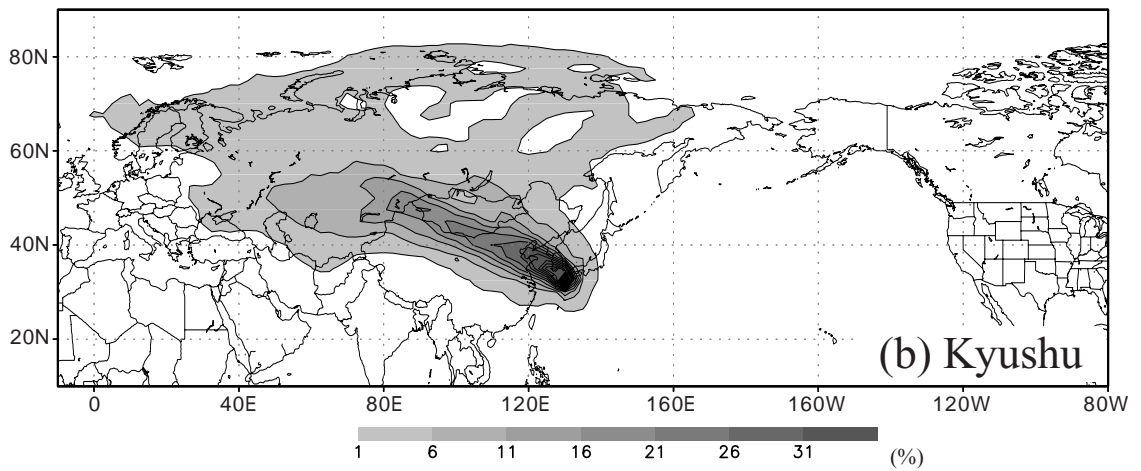
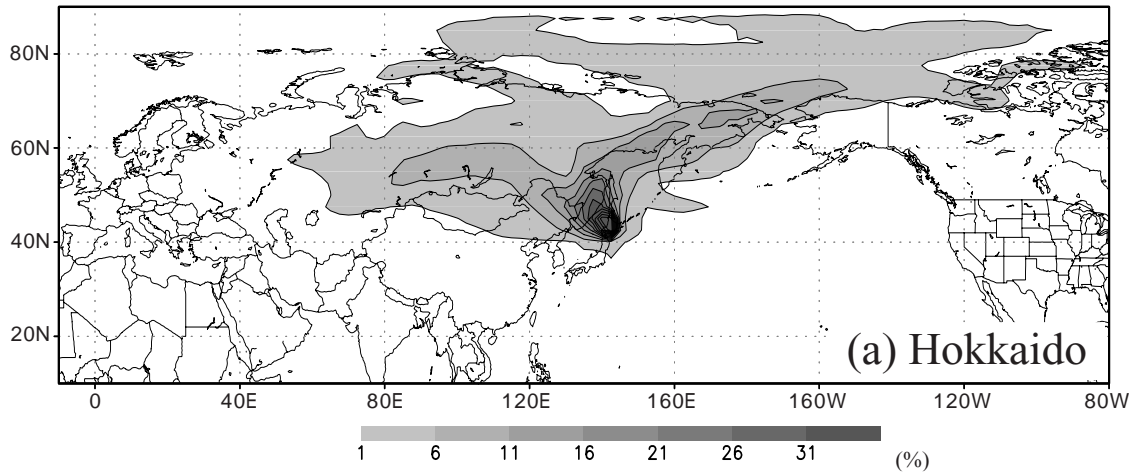


Fig. 6. Probability distributions of the 7 day backward trajectories of air parcels that arrived over (a) Hokkaido, and (b) Kyushu in January 2001. Contours greater than 1% are presented, with a contour interval of 5%.

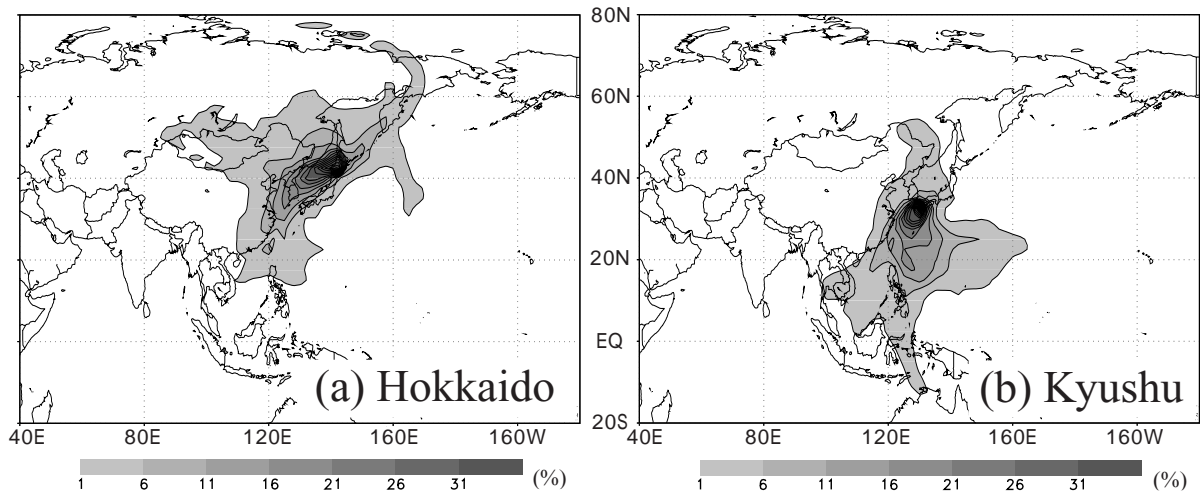


Fig. 7. The same as in Fig.6, except for July 2001.

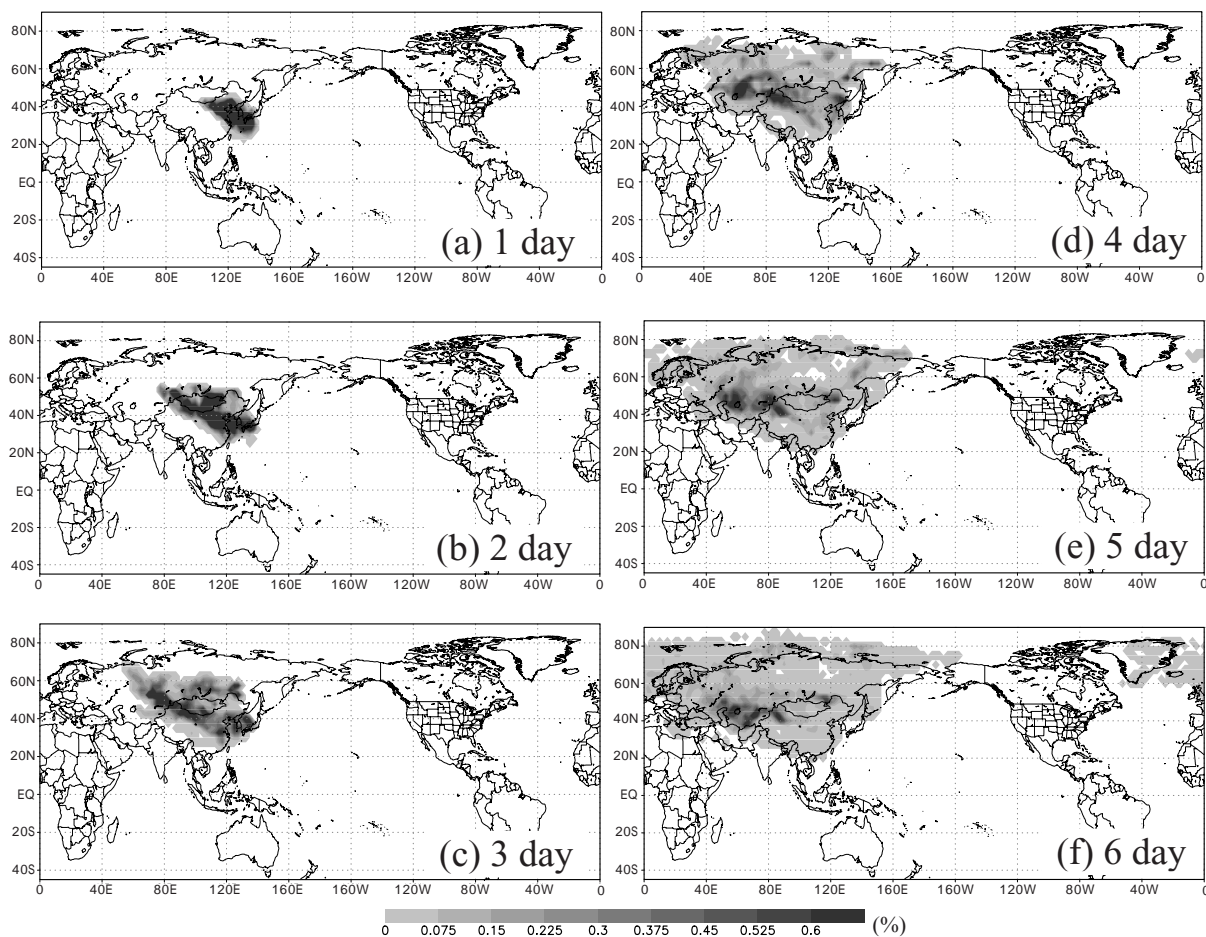


Fig. 8. Probability distribution of position of air parcels (a) 1 day, (b) 2 day, (c) 3 day, (d) 4 day, (e) 5 day, and (f) 6 day before the air parcels arrived over the Kyushu region in January 2001.

3.3 空気塊のバックワード流跡線と気象条件

Fig. 9は、冬季における地上気圧配置と北海道エア一と九州エア一の7日間のバックワード流跡線との関係の一例を示したものである。また、Fig. 9aは、空気塊をバックワードさせ始める時の地上気圧配置であり、日本付近における冬季の典型的な気圧配置である。シベリア高気圧は、アジア大陸上で発達し、温帯低気圧の活動は、オホーツク海上で卓越している。この気圧配置において、西ヨーロッパを起源とする九州エア一は、モンゴル-九州ルートを通じてきている。冬季の偏西風が空気塊を西ユーラシアからアジア大陸にまで輸送し、さらに、シベリア高気圧と発達した温帯低気圧がその空気塊を九州にまで輸送する重要な役割を果たしている。Newell and Evans(2000)は、冬季の中国大陸上の空気塊が、中国を起源とする汚染物質だけでなく、ヨーロッパを起源とする汚染物質を含んでいる可能性を主張している。一方、北海道エア一の移動は、カムチャッカルートに沿って起きており、北太平洋上のアリューシャン低気圧の半時計回りの循環によるものである。

Fig. 10は、夏季の例について示したものである。

小笠原高気圧は日本の南部で発達し、梅雨前線は日本の北部に位置していた。小笠原高気圧の時計回りの循環は、太平洋北西部から九州への空気塊の輸送に寄与している。森ら(1997)は、夏季の九州に到達する空気塊のバックワード流跡線について調べた。その結果、梅雨前線の北側の空気塊は、アジア大陸を起源としていたのに対して、梅雨前線の南側の空気塊は、東シナ海から移動してきたものであった。2001年7月の気象場は、小笠原高気圧の活動が日本の南部で卓越していたため、梅雨前線が日本の北部で停滞する傾向にあった。このため、Fig. 7bで見られるように、太平洋ルート上での九州エア一の移動が卓越していたと考えられる。一方、小笠原高気圧の西側の北西流は、中国東岸ルートでの北海道エア一の移動をもたらしている。Liu et al.(2002)は、夏季の中国東部の南西風は、中国を起源とする汚染物質を中国東岸に沿って北東方向へ輸送することを示している。さらに、この図から、アジア大陸上での弱い偏西風が空気を中国北部から北海道へ輸送していることがわかる。Iwasaka et al.(2003)は、チベット高原の北側の偏西風は、夏季でさえ、黄砂粒子をタクラ

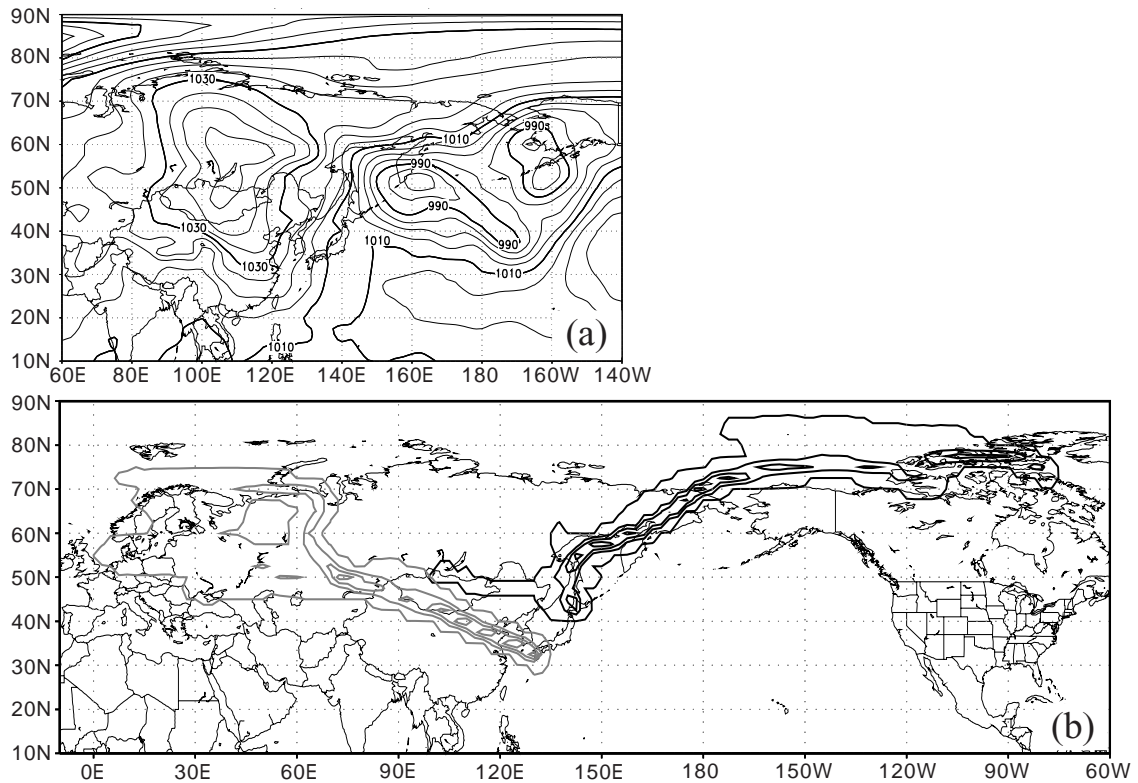


Fig. 9. (a) The synoptic meteorological conditions, and (b) the probability distributions of 7 day backward trajectories of air parcels that arrived over Hokkaido and Kyushu for 12UTC on 13 January 2001. In the distributions (b), the black and grey contours indicate the trajectories of air parcels arriving over Hokkaido and Kyushu, respectively. The contour lines are drawn for 1, 31, and 61%.

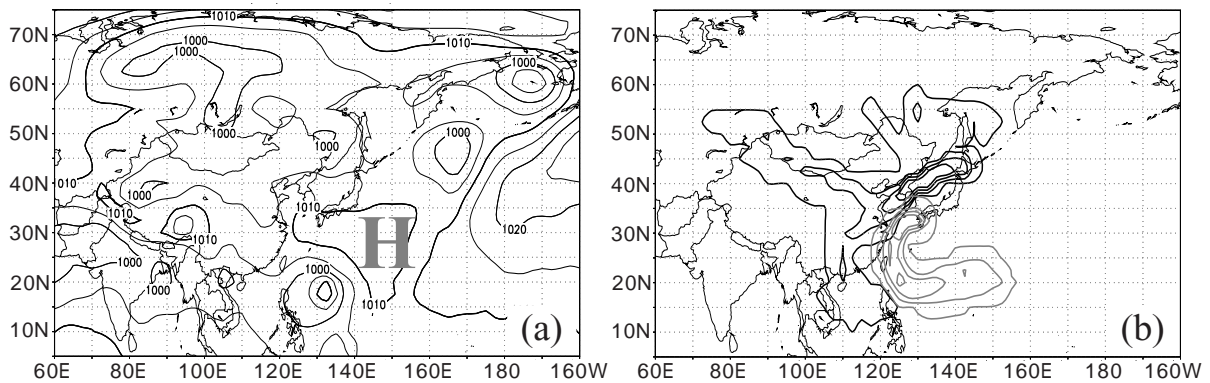


Fig. 10. The same as in Fig.9, except for 6UTC on 3 July 2001. In (a), the label 'H' to the south of Japan indicates the Ogasawara High. In (b), the contour lines are drawn for 1, 21, 41, and 61%.

マカン砂漠から太平洋上へ輸送することが出来ることを指摘している。

以上のことから、北海道エアと九州エアのルートの違いは、日本付近における大気循環の季節的な特徴の違いの結果によるものと考えられる。

3.4 物質輸送

(1) 空気塊の移動の空間スケール

Fig.2とFig.3の空気塊のバックワードポジションの特徴からわかるように、日本付近に到達する空気

塊の移動の空間スケールは、夏季よりも冬季に大きい。このことは、冬季に日本付近に到達する化学物質は、夏季に到達する化学物質よりも遠くから輸送されてくることを示している。これは、ヨーロッパから東アジアへの化学物質の大陸間長距離輸送の季節的な特徴と関係する。冬季の北海道エアと九州エアの一部は、ヨーロッパを起源としていたのに対して、夏季の北海道エアと九州エアは、ヨーロッパを起源としていない。Stohl et al.(2002)は、2000年のECMWF再解析データを用いながら、ヨーロッパで

放出されたトレーサーの6- 日後の地球規模での輸送を解析した。その結果によれば、冬季のヨーロッパ起源のトレーサーの一部は、日本付近に到達していたが、夏季のトレーサーは、全く到達していなかった。

また、Fig. 4aとFig. 4bの結果から、冬季のヨーロッパ起源の空気塊は、北海道に到達する時間よりも短時間に九州に到達することが出来ることを示している。もし、ヨーロッパを起源とする7日間の寿命を持つ化学物質が日本付近へ大陸間長距離輸送されるならば、その化学物質が九州に到達する事が出来る確率は、北海道に到達することが出来る確率よりも大きいと考えられる。

(2) 空気塊の移動の時間スケール

空気塊の移動の時間スケールは、その空気塊がある空間から別の空間に移動するまでに必要とする時間から決定することが出来る。

ここで、Fig. 8の2日前と4日前の冬季九州エアーのバックワードポジションの特徴を基に、過去の時間に向かって、九州上空の空気塊が中国上空（北緯40度東経110度付近）に移動するまでに必要とする空気塊の移動の時間スケールについて着目する。2日前と4日前の図を比較することによって、2日前に既に中国上空に位置している空気塊や、4日前になっても中国上空で滞留し続けている空気塊が存在していることがわかる。このため、冬季の中国上空の空気塊には、九州の上空に到達するために、2日以内の時間スケールを必要とする空気塊や4日以上時間スケールを必要とする空気塊が存在すると考えられる。したがって、冬季の九州エアーは、モンゴル-九州ルートをしばしば通過してくるが、急速に移動してくるものとゆっくりと移動してくるものがあると考えられる。これは、温帯低気圧が日本付近を通過した後、大陸上で発達したシベリア高気圧が日本付近に寒気を吹き出すまでのプロセスが周期的に起きているためである。1979年から1995年までの冬季(10月から4月までの期間)におけるNCEP/NCAR Reanalysisの地表気温と地表面気圧データを用いたZhan et al.(1997)の調査によれば、東アジアの寒気吹き出しの開始から消滅までの時間スケールは、おおよそ5~10日である。Kaneyasu et al.(2000)は、冬季に日本の南部において大気中の二酸化硫黄濃度と硫酸エアロゾルの数濃度を観測し、その地域に到達した空気塊のバックワード流跡線の特徴との関係について調べている。その結果、典型的な冬型の気圧配置時には、日本の南部に到達した空気塊は、中国大陸の地表付近を滞留することなく2日以内に移動してきており、

その空気塊に含まれる中国起源の二酸化硫黄の酸化反応があまり起きていなかった。これに対して、冬型の気圧配置でない気象条件時には、日本の南部に到達した空気塊は、中国大陸の停滞性の高気圧によって地表付近で3日以上滞留されたため、中国で排出された二酸化硫黄の酸化反応が顕著に起きていたと報告している。一方、Osada et al.(2003)は、夏季の中部日本で観測される二酸化硫黄と硫酸エアロゾルの特徴について着目し、中国を起源とする二酸化硫黄の酸化反応は、冬季よりも夏季に卓越していたことを報告している。この原因は、中国から日本付近への空気塊の輸送スピードが冬季よりも夏季に遅いため、空気塊中の二酸化硫黄の酸化反応が十分に良く起きているためだとしている。この二酸化硫黄の酸化反応は、大気中の硫酸エアロゾルの生成に寄与し、大気中におけるエアロゾルの粒径分布の性質に大きな影響を与える。

(3) 空気塊の移動経路

3.2節でも述べたように、夏季と冬季の同じ季節内に、北海道エアーと九州エアーの移動経路は、大きく異なっていた。このため、北海道に到達する大気中の化学物質の起源は、九州に到達する化学物質の起源とは大きく異なっていたと考えられる。Naja and Akimoto(2004)は、冬季において、ユーラシア北部を通過する空気塊が、日本の北部上空のオゾン濃度を決定するのに対して、中国からの空気塊が、日本の南部上空のオゾン濃度を決定する大きな要因になっていることを明らかにした。Tanimoto et al.(2000)は、1998年のシベリアの森林火災が日本の北部の大気組成に与える影響について調べている。この中で、日本の南部には、太平洋高気圧によって太平洋起源の空気がしばしば輸送されてくるが、太平洋高気圧の影響下に無い日本の北部には、シベリアの森林火災を起源とする化学物質を含む空気塊が到達することが出来ることを指摘している。これらの解析から示唆されるような化学物質の分布のギャップは、他の研究によっても明らかにされている。例えば、Matsueda et al.(1996)は、西部太平洋上の北緯20度付近の冬季モンスーンと貿易風の境界付近において、メタン混合比の急激な勾配を見出している。これは、東アジアの大気汚染に関わる環境問題を議論するうえで重要な知見である。中国や韓国を起源とする化学物質が日本付近の大気組成に与える影響を考えるならば、夏季と冬季の同じ季節内に、北海道に到達する汚染物質の起源は、九州に到達する汚染物質の起源と大きく異なると考えられる。

東アジアからの大気汚染物質の排出量は、今後近

い将来も急激に増加することが予測されており (van Aardenne et al., 1999; Streets and Waldhoff, 2000), 中国や韓国で排出された大気汚染物質の影響は, 冬季の九州と夏季の北海道で顕著になる可能性がある。我々による日本付近に到達する空気塊のバックワード流跡線の他の年の解析によれば, 空気塊の移動経路には, 年々変動が認められた。このため, 日本付近における大気循環の年々変動と空気塊の移動経路との関係を詳細に解析することを今後の課題とした。なお, 本研究に先立つ解析結果の一部は, 別途の報告において公表されている(風岡・木田, 2004; Kazaoka and Kida, 2004a, 2004b, 2004c, 2004d, and 2005)。

4. まとめ

北海道と九州に到達する7日間の空気塊のバックワード流跡線の解析から以下の知見が得られた。

- (1) 北海道と九州に到達する空気塊のバックワードポジションは, 夏季と冬季で大きく異なっていた。空気の移動の空間スケールは, 夏季よりも冬季に大きい。
- (2) 夏季と冬季の同じ季節内に, 北海道に到達する空気塊の移動経路は, 九州に到達する空気塊の移動経路と大きく異なる。
- (3) 地球規模でみて, 北海道と九州は非常に近い位置関係にあるが, 両地域に到達する空気塊の特徴は, 夏季と冬季の同じ季節内に大きく異なっていた。細かく区切られた領域内に到達する空気塊の起源と履歴について考える場合, その領域の地理学的特徴を把握しておくことは重要である。

謝 辞

空気塊流跡線の計算は, 京都大学の大型計算機センターで行われました。本研究では, NCEP/DOE AMIP-II reanalysisのデータを使用させて頂きました。図の作成には, GrADS Softwareを使用させて頂きました。この研究の経費の一部は, 文部科学省科学研究費補助金科学研究費No.14208062の補助を受けました。

参考文献

風岡亮・木田秀次(2004): 日本付近に到達する空気塊流跡線の季節変化, 京都大学防災研究所年報, 第47号B, pp.389-403.

森淳子・宇都宮彬・鶴野伊津志・若松伸司・大原利真(1997): 九州北部地域におけるエアロゾル濃度の変動と高濃度エピソードの解析, 大気環境学会8, Vol.32, No.2, pp.73-89.

Holloway, T., Fiore, A., and Hastings, M.C. (2003): Intercontinental transport of air pollution: Will emerging science lead to a new hemispheric treaty?, *Environmental Science & Technology*, 37, No.20, pp.4535-4542.

Iwasaka, Y., Shi, G.-Y., Yamada, M., Matsuki, A., Trochkin, D., Kim, Y.S., Zhang, D., Nagatani, T., Shibata, T., Nagatani, M., Nakata, H., Shen, Z., Li, G., and Chen, B. (2003): Importance of dust particles in the free troposphere over the Taklamakan desert: Electron microscopic experiments of particles collected with a balloonborne particle impactor at Dunhuang, China, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 108, No.D23, 8644, doi:10.1029/2002JD003270.

Kanamitsu, M., Ebisuzaki, W., Woollen, J., Yang, S-K, Hnilo, J.J., Fiorino, M., and Potter, G.L. (2002): NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis, *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 83, No.11, pp.1631-1643.

Kaneyasu, N., Takeuchi, K., Hayashi, M., Fujita, S., Uno, I., and Sasaki, H.(2000): Outflow patterns of pollutants from East Asia to the North Pacific in the winter monsoon, *Journal of Geophysical Research*, Vol.105, No.D13, pp.17361-17377.

Kazaoka, R. and Kida, H. (2004a): Seasonal changes of air parcel's trajectories arriving at the Japan Area, Extended Abstract (P1B.3, pp.4), 13th Joint conference on the applications of air pollution meteorology with the air and water management association, American Meteorological Society, 23-26 August, Vancouver, British Columbia, Canada.

Kazaoka, R. and Kida, H. (2004b): Probability distribution of source and transport pathway of air parcel arriving at the Japan Area, Abstract, SOLAS Science 2004: The 1st SOLAS open science conference, 13-16 October, Halifax, Nova Scotia, Canada.

Kazaoka, R. and Kida, H. (2004c): Seasonal features of air parcel's transport arriving at the Japan Area, Proceedings of the 2nd KAGI21 International Symposium Beppu, 2004, pp.24-25. (1-4 November, Beppu, Japan.)

Kazaoka, R. and Kida, H. (2004d): Seasonal difference

- of transport of air parcels arriving at the Japan area between summer and winter, Abstract, 2004 AGU Fall Meeting, 13-17 December, San Francisco, USA.
- Kazaoka, R. and Kida, H. (2005): Summer/Winter differences in air parcels arriving over Japan. (Submitted to SOLA (Scientific Online Letters on the Atmosphere))
- Liu, H., Jacob, D.J., Chan, L.Y., Oltmans, S.J., Bey, I., Yantosca, R.M., Harris, J.M., Duncan, B.N., and Martin, R.V.(2002): Sources of tropospheric ozone along the Asian Pacific Rim: An analysis of ozonesonde observations, *Journal of Geophysical Research*, Vol.107, No.D21, 4573, doi:10.1029/2001JD002005.
- Matsueda, H., Inoue, H.Y., Ishii, M., and Nogi, Y. (1996): Atmospheric methane over the North Pacific from 1987 to 1993, *Geochemical Journal*, Vol. 30, pp.1-15.
- Mukai, H. and Suzuki, M. (1996): Using air trajectories to analyze the seasonal variation of aerosols transported to the Oki Islands, *Atmospheric Environment*, Vol. 30, No.23, pp. 3917-3934.
- Naja, M. and Akimoto, H. (2004): Contribution of regional pollution and long-range transport to the Asia-Pacific region: Analysis of long-term ozonesonde data over Japan, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 109, No.D21306, doi:10.1029/2004JD004687.
- Newell, R.E. and Evans, M.J. (2000): Seasonal changes in pollutant transport to the North Pacific: the relative importance of Asian and European sources, *Geophysical Research Letters*, Vol.27, No.16, pp.2509-2512.
- Osada, K., Kido, M., Iida, H., Matsunaga, K., Iwasaka, Y., Nagatani, M., and Nakada, H. (2003): Seasonal variation of free tropospheric aerosol particles at Mt. Tateyama, central Japan, *Journal of Geophysical Research*, Vol.108, No.D23, 8667, doi:10.1029/2003JD003544.
- Phillips, N.A. (1957): A coordinate system having some special advantages for numerical forecasting, *Journal of Meteorology*, Vol. 14, pp.184-185.
- Rahn, K.A., Lowenthal, D.H., and Harris, J.M. (1989): Long-range transport of pollution aerosol from Asia and the Arctic to Okushiri Island, Japan, *Atmospheric Environment*, Vol.23, No.11, pp.2597-2607.
- Stohl, A., Eckhardt, S., Forster, C., James, P., and Spichtinger, N. (2002): On the pathways and timescales of intercontinental air pollution transport, *Journal of Geophysical Research*, Vol.107, No.D23, 4684, doi:10.1029/2001JD001396.
- Streets, D.G. and Waldhoff, S.T. (2000): Present and future emissions of air pollutants in China, *Atmospheric Environment*, Vol. 34, No.34, pp.364-374.
- Tanimoto, H., Kajii, Y., Hirokawa, J., Akimoto, H., and Minko, N.P. (2000): The atmospheric impact of boreal forest fires in far eastern Siberia on the seasonal variation of carbon monoxide: Observations at Rishiri, a northern remote island in Japan, *Geophysical Research Letters*, Vol.27, No.24, pp.4073-4076.
- van Aardenne, J.A., Carmichael, G.R., Levy, H., Streets, D. and Hordijk, L. (1999): Anthropogenic NOx emissions in Asia in the period 1990-2020, *Atmospheric Environment*, Vol. 33, No.4, pp.633-646.
- Zhang, Y., Sperber, K.R., and Boyle, J.S. (1997): Climatology and Interannual variation of the East Asian winter monsoon: Results from the 1979-95 NCEP/NCAR Reanalysis, *Monthly Weather Review*, Vol.125, No.10, pp.2605-2619.

Seasonal changes of air parcel's trajectories arriving at the Japan Area (2)

Ryo KAZAOKA^{*} and Hideji KIDA^{*}

^{*} Department of Geophysics, Graduate School of Science, Kyoto University, Kyoto, Japan

Synopsis

In order to examine the features of air parcels arriving over the Japan area, 7 day backward trajectories of air parcels that arrived over the two regions of Japan, the Hokkaido and Kyushu regions, were calculated 4 times a day in January and July 2001. The origin and pathway of air parcels arriving at Kyushu are greatly different from those arriving at Hokkaido in summer and winter, although Hokkaido is very close to Kyushu in a sense of global scale. In winter air parcels arriving at Kyushu frequently moved from the northeast China, although the air parcels arriving at Hokkaido moved eastward from Siberia and westward from Arctic Ocean. It is suggested from these findings that geographical location of a specified area is important when we think about the origin and history of air parcels in the atmospheric circulation system.

Keywords: air parcel's trajectory, chemical material transport, atmospheric circulation