

世界分布でみた空気塊の移動の空間・時間スケール

風岡亮*・木田秀次*

* 京都大学大学院理学研究科

要 旨

全球大気中での空気塊移動の性質を調べるために、全球の均一の地域に到達する空気塊の過去25日間のバックワード流跡線を解析した。関心のある地域に到達する空気塊の移動の空間スケールは、ある一定の時間でみた空気塊のバックワード流跡線の長さとして定義された。冬季におけるアジア大陸東岸と北アメリカ大陸東岸は、到達する空気塊の移動の空間スケール分布の南北勾配が顕著な地域であった。この結果は、北海道と九州は、地球規模でみて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起源が大きく異なる事を示唆している。

キーワード: 空気塊流跡線, 物質輸送, 大気循環

1. はじめに

全球大気中のすべての空気塊は、空間と時間に関する履歴を持っている。この履歴は、大気循環の特徴に強く依存している。したがって、関心のある地域の気候や化学物質の輸送を理解するために、到達する空気塊の移動特性を調べる事は重要である。

荒川・田原(1948)は、1940年から1945年までの期間中に日本列島上で観測された気象要素と到達する空気塊のバックワード流跡線のデータを基に、日本列島の各地域に影響を与える気団の種類の特徴を調べた。その結果、例えば、北海道と九州の両地域では、冬季にシベリア気団の影響が卓越する事が見出された。最近になって、日本列島上に到達する空気塊の特徴は、化学物質の起源を調べるために解析されている。例えば、北海道の空気塊が最も高い頻度で移動してくる地域は、1984年から1985年の冬季において、北ユーラシアの上空であった事が報告されている(Rahn et al., 1989)。また、Mukai and Suzuki(1996)は、1988年から1991年の3年間に日本海の隠岐島に到達した空気塊のバックワード流跡線を解析し、到達する空気塊の起源地域の季節的特徴を明らかにした。

最近の研究では、世界の各地点で観測された対流圏オゾン濃度の年々トレンドの特徴は、地理的にも、

年々的にも不均一になっているため、日本列島上の各地域に到達する空気塊移動経路の気候学的特徴が重要視されている。これは、日本だけでなく、日本の風上側に相当する各国における大気汚染物質の排出パターンとトレンドが、日本列島上における対流圏オゾンの増加トレンドの地域的特性を生じさせる可能性があるからである(Akimoto et al., 1996)。このため、Naja and Akimoto(2004)は、日本列島上における局地的な大気汚染の特徴を明らかにするために、1977年から2002年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の解析を行った。そして、冬季において、北海道に到達する空気塊は、主に北ユーラシアの上空を移動してくるのに対して、九州に到達する空気塊は、中国と韓国の上空を移動してくる事が報告された。しかしながら、この研究で解析された空気塊のバックワード流跡線は、北海道と九州の上空でオゾンが観測された月に1から5回程度のものであり、毎日到達する空気塊に関するものではなかった。一方、Tanimoto et al. (2000)とTanimoto et al.(2002)は、1998年から2000年の3年間に北海道の利尻島に毎日到達した空気塊のバックワード流跡線データを解析した。しかしながら、これらの研究において、日本付近に到達する空気塊移動の特徴は、毎日の流跡線データを数年よりも長期間について調べられておらず、その年々変動も明らかにされていな

い。以上のことから、これまでの日本列島上の各地域に到達する空気塊移動の特徴は、化学物質が観測された時のものが解析されているだけであり、空気塊のバックワード流跡線の長期間データを基に総合的に調べられていないといえる。

Kazaoka(2003) と Ishizaka et al.(2004) は、APEX/ACE-Asiaプロジェクトにおける雲の航空機観測データを解析した。そして、2001年4月に南西諸島近辺海域上に到達した空気塊移動経路が調べられ、アジア大陸から高濃度の雲凝結核(エアロゾル粒子)が輸送されて来た時、層雲および積雲の雲粒数濃度が増加し、また、雲粒の光学的有効半径が減少する傾向が見出された。そして、風岡・木田(2004)は、この2001年の1年間に注目し、日本の北海道と九州の両地域に到達した空気塊の移動経路と地理的起源を解析した。その結果、両地域は、地球規模でみて非常に近い位置関係にあるが、2001年の夏季と冬季において、両地域に到達する空気塊の地理的起源が大きく異なる事が見出された(風岡・木田, 2004; Kazaoka and Kida, 2004a; Kazaoka and Kida, 2004b; Kazaoka and Kida, 2004c; Kazaoka and Kida, 2004d)。さらに、風岡・木田(2005)は、2001年の冬季において、ヨーロッパなどの別の地域から北海道と九州の両地域に移動するのに要する時間スケールが異なっている事も明らかにした。そして、細かく区切られた領域内に到達する空気塊の地理的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事は重要である事が指摘された。しかしながら、これらの結果は、1年の期間についての解析によって得られたものである。このため、空気塊移動の気候学的特徴や年々変動が明らかにされていない点、また、日本と世界各地に到達する空気塊の移動特性が比較されていない点で、日本付近に到達する空気塊移動の特徴が十分に明らかにされているとは言い難い。

2. 解析手法

2.1 空気塊流跡線

本研究は、空気塊バックワード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っている。

本研究では、空気塊のバックワード流跡線を σ 座標系で計算した。印付けられた空気塊の運動は、(1)式によって記述される。

$$\Delta r = r(t + \Delta t) - r(t) = \int_t^{t+\Delta t} V(x, y, \sigma, t) dt \quad (1)$$

ここに、 x , y , σ , t , および Δt は、それぞれ、経度、緯度、シグマ($\sigma = (P - P_{top}) / (P_s - P_{top})$, P : 気圧, P_{top} : 大気上限の気圧, P_s : 地表面気圧), 時間, および時間ステップである。また、 Δr と V は、それぞれ空気塊の3次元の変位ベクトルと Δt に対する平均速度である。 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られた。また、流跡線計算領域の上部境界を10hpa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。一方、空気塊の σ が0.99を超えた場合、空気塊が地表に接したと判断し、追跡計算をストップさせた。

空気塊は、空間と時間の線形補間を用いながら、1時間毎に追跡された。空気塊の追跡計算には、補間エラー、初期条件依存、およびサブグリッドスケールの気象現象などの影響によって、計算の不確実性と限界が含まれているため(Stohl, 1998)、空気塊の長期間の移動を高精度で追跡する事は難しい。また、対流圏の循環には、積雲スケールからプラネタリースケールまでの様々な空間スケールの擾乱が寄与しており、対流圏において空気塊の運動を1ヶ月以上追跡する事は困難とされている(Noda, 1988)。そこで本研究は、極めて多数の空気塊を統計的に解析し、それらの過去25日間の移動を確率論的な立場で明らかにする。

2.2 初期条件

本研究において、空気塊の性質の調査対象として選定された地域は、日本付近および全球である。

Fig.1は、北海道(42-45N, 141-144E)と九州(31-34N, 129-132E)の領域のロケーション・マップを示したものである。北海道と九州は、距離にして約1000km離れており、地球規模でみて非常に近い位置関係にある。本研究は、各領域内に均一に配置された100個の空気塊の過去25日間におけるバックワード流跡線を計算した。地球規模で移動し、かつ、他の地域における大気境界層内の大気質に影響を与えるような空気塊の移動特性を調べるために、すべての空気塊は、各領域内の大気境界層上層付近に相当する $\sigma = 0.85$ 面上(おおよそ高度1400-1500m)に配置されている。ここで、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。

一方、世界のすべての地点に到達する空気塊の性質を調査するための空気塊の初期位置は、Fig.2に示すとおりである。空気塊は、大気境界層上層付近に相当する $\sigma = 0.85$ 面上に緯度経度2.5度グリッド毎に

北極から南極まで全球均一に配置されている。したがって、本研究は、この等 σ 面上に配置された合計10512個の空気塊の移動を解析する事になる。

本研究は、日本付近および全球を調査対象地域と選定する場合において、印付けられた空気塊を毎日(1日4回; 00UTC, 06UTC, 12UTC, および18UTC)のペースで過去の時間へリリースした。そして、1980年から2003年までの毎日の空気塊のバックワード流跡線データは、月平均データとしてまとめられ、その気候学的特徴と年々変動について調べられた。

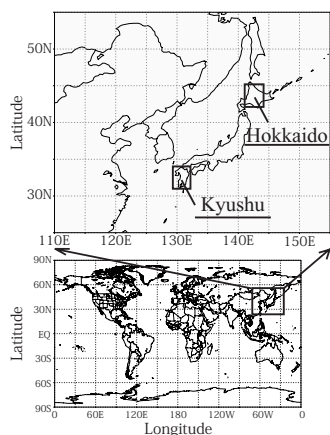


Fig. 1 Global map and location map for the Hokkaido and Kyushu regions in Japan. Air parcel's trajectories arriving at the Hokkaido (42-45N, 141-144E) and Kyushu (31-34N, 129-132E) regions were calculated.

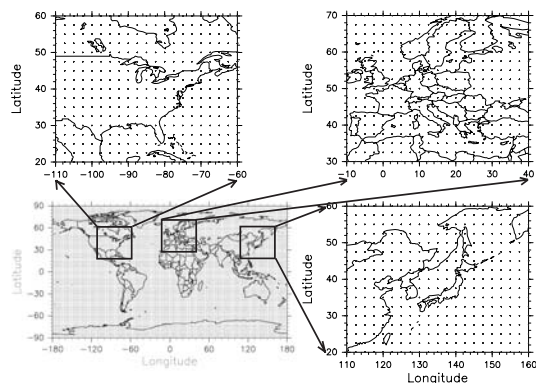


Fig. 2 Initial positions of marked air parcels over homogeneously distributed in global. These are placed at intervals on 2.5 degrees in longitude and latitude.

2.3 空気塊の性質の調査

(1) 移動の空間スケール

本研究は、空気塊の移動の空間スケールを、ある一定の時間について過去の時間にバックワードさせた空気塊流跡線の長さで定義した。印付けられた空気塊の移動の空間スケール L は、(2)式によって計算

される。

$$L(t) = \int_0^t V(x, y, \sigma, t) dt \quad (2)$$

この式において、空気塊の移動の空間スケールは、その空気塊の移動スピードが速い程、大きい事が示されている。一方、2.1節でも述べたように、空気塊が地表に接した場合、その空気塊の追跡計算をストップさせた。したがって、空気塊の移動スピードが一定であるならば、空気塊が大気中を長く滞在する程、その空気塊の移動の空間スケールが大きくなる。

(2) 移動の時間スケール

空気塊の移動の時間スケールは、空気塊がある一定の距離を移動するのに必要とする時間、または、関心のあるグリッドからリリースされた空気塊が別のグリッドまでに移動するのに必要とする時間と定義される。本研究は、日本の上空に到達する空気塊が、他の地域から、どれくらいの時間をかけて移動してくるのに関心を持っているため、後者を解析した。

移動の時間スケールは、Fig. 3で示されているように、別のグリッドを通過した極めて多数の空気塊が持つ“リリースされてからの経過時間”の頻度分布を基にして見積もられる。本研究は、全球の各カラムグリッド上において、日本付近に到達した空気塊のバックワード流跡線データを1ヶ月の期間毎に解析し、移動の時間スケールの頻度分布を作成した。関心のあるグリッドから別のカラムグリッドに移動するのに必要とする代表的時間スケールは、最高頻度となった時間として表現される。この移動の代表的時間スケールは、Kida(1983)によるAge Spectrumの概念を参考にして見積もられた。

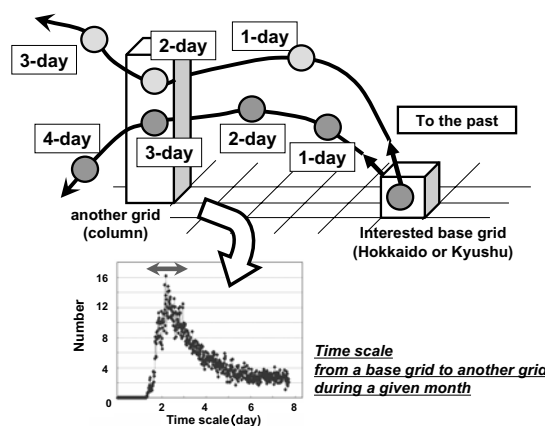


Fig. 3 Schematic illustration of the way to obtain the time scale of air parcel's displacement from a base grid to another grid.

3. 結果

3.1 日本付近に到達する空気塊移動の特徴

(1) 移動経路

北海道と九州の領域内に到達する空気塊移動経路の頻度分布を作成するために、空気塊のバックワード流跡線を3次元グリッド上で解析した。この3次元グリッドは、水平方向が2.5度グリッド毎で区切られ、また、高度0kmから高度16.5kmまでの間に18グリッド存在するような解像度を持っている。

Fig. 4とFig. 5は、それぞれ1月における北海道エアと九州エアの過去7日間の移動経路の月平均分布を表したものである。値は、ある1ヵ月内に1カラムグリッド上を通過したバックワード流跡線の本数であり、1980年から2003年までの24年間の平均値である。

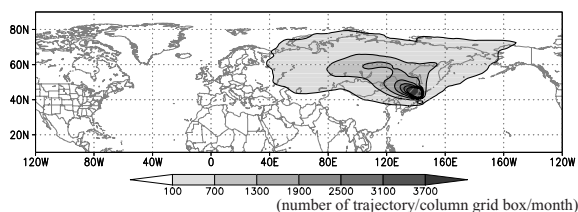


Fig. 4 Distribution of the 7day backward trajectories of air parcels that arrived over the Hokkaido region in January, averaged for the period of 1980-2003. Contours greater than 100 are indicated, with a contour interval of 600. The number of backward trajectories was counted in the column covering the grid points in the box for the Hokkaido region shown in Fig. 1.

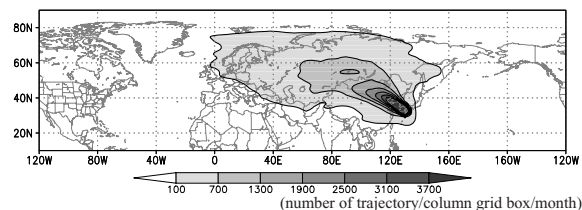


Fig. 5 The same as in Fig.4, except for the Kyushu region.

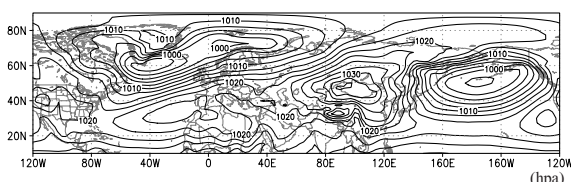


Fig. 6 The distribution of the January mean sea level pressure averaged for the period of 1980-2003. The contour lines are drawn with an interval of 2.5hpa.

北海道に到達する空気塊は、風岡・木田(2005)による2001年1月の解析で見出されたように、主に2つのルートを通して来ている(Fig.4)。最も卓越するのは、バイカル湖の北側の北ユーラシアから東向きに移動するシベリアンルートである。Naja and Akimoto(2004)によって報告されたように、北海道エアの起源地域は、中国や韓国というよりも、むしろ北ユーラシアである。一方、2番目に卓越するルートは、オホーツク海、カムチャッカ半島、およびベーリング海から西向きに移動するカムチャッカルートである。しかし、2001年1月の解析では、シベリアルートよりも、カムチャッカルートを通してくる北海道エアが多かった(風岡・木田, 2005)。このため、2001年1月の北海道エアの特徴は、24年平均の特徴と比較して、大きく異なっていた。これは、2001年1月のアリューシャン低気圧が、アラスカ湾を中心として平年よりも強く発達し、カムチャッカ半島とベーリング海付近での東風が強まった事が原因と考えられる(Kazaoka and Kida, 2005a ; Kazaoka and Kida, 2006a)。

一方、九州に到達する空気塊(Fig.5)は、風岡・木田(2005)でも報告されたモンゴル-九州ルート(特に黄海周辺の中国と韓国の上空)を毎年通過してきている。この九州エアのルートは、Naja and Akimoto(2004)によって報告されている。

Fig. 6は、北半球における1月の月平均海面気圧を示したものである。値は、1980年から2003年までの24年間の平均値である。シベリア高気圧とアリューシャン低気圧が、それぞれ、アジア大陸上と北太平洋上で認められる。この図から、北海道エアは、シベリア高気圧の時計回りの循環によって、シベリアルートを通してくるのに対して、アリューシャン低気圧の半時計回りの循環によって、カムチャッカルートを通してくる事が理解される。一方、モンゴル-九州ルートに沿った九州エアの移動には、風岡・木田(2004)と風岡・木田(2005)でも述べられたように、シベリア高気圧と発達した温帯低気圧の両者が重要な役割を果たしていると考えられるが、今後、これらのメカニズムが詳しく明らかにされる必要がある。

以上のことから、北海道エアと九州エアの過去7日間における移動経路の月平均分布の特徴を調べた結果、特異的な年を除いて、北海道エアは、主にシベリアルートを通してくるのに対して、九州エアは、モンゴル-九州ルートを通してきている事がわかった。ある化学物質を含む空気塊がある地域から別の地域に移動するまでの時間スケールが大きくなると、その化学物質は別の化学物質に化

学変化する。このため、化学物質の起源地域や輸送経路は、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経路から推定される。したがって、上記の結果が、日本付近の気候の形成に寄与する気団だけでなく、北海道や九州で観測される7日間の寿命を持つような化学物質の起源や輸送経路の理解に貢献する事が期待される。

これまでの結果は、過去7日間に着目したものであるが、過去25日間における空気塊のバックワード流跡線を解析する事によって、シベリアルートを移動してきた北海道エアとモンゴルー九州ルートを移動してきた九州エアの起源を、更に遡って知る事が出来る。Fig. 7とFig. 8は、それぞれ1月における北海道エアと九州エアの過去25日間の移動経路の月平均分布を表したものである。値は、1980年から2003年までの24年間の平均値である。これらの図から、北海道エアと九州エアの両空気塊は、ヨーロッパと北アメリカの上空を經由している事がわかる。また、700以上のコンターに注目すると、九州エアのコンターは、北アメリカの東部まで達しているのに対して、北海道エアのコンターは、東ヨーロッパまでしか達していない事が読み取れる。このため、九州エアの移動の空間スケールは、北海道エアの移動の空間スケールよりも大きいという事がわかった。

(2) 移動の時間スケール

北海道エアと九州エアの移動の空間スケールが異なるという事は、両空気塊の移動スピードが異

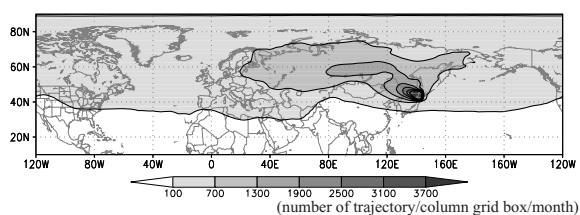


Fig. 7 Distribution of the 25 day backward trajectories of air parcels that arrived over the Hokkaido region in January, averaged for the period of 1980-2003. Contours greater than 100 are indicated, with a contour interval of 600.

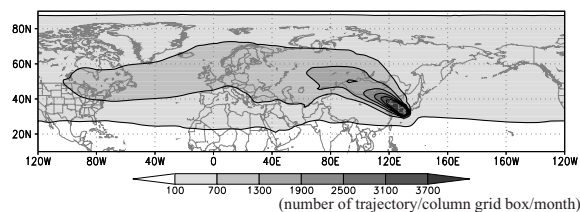


Fig. 8 The same as in Fig. 7, except for the Kyushu region.

なっている事を意味している。したがって、ある別の地域から北海道に移動するまでの時間スケールは、九州に移動するまでの時間スケールと異なっていると思われる。そこで、過去25日間のバックワード流跡線のデータを基に、北海道エアと九州エアが全球の各地点からどれくらいの時間で移動してくるのかを解析した。

Fig. 9とFig. 10は、それぞれ1月に北海道と九州に到達する空気塊が全球の各地点から移動するのに必要とする時間スケールの水平分布を示したものである。値は、2.3節(2)項で説明された代表的時間スケールであり、カラムグリッド上で解析する事によって得られたものである。また、24年間の気候値がプロットされている。これらの図において、寒色系の色は、短時間で北海道または九州に到達する事が出来る空気塊の起源地域を示しているのに対して、暖色系の色は、両地域に到達するのに長時間を必要とする空気塊の起源地域を示している。Fig. 7とFig. 8の主要な移動経路を考慮すれば、移動の時間スケールは、北海道または九州の領域から遠い地域ほど、長くなる事が読み取れる。この図から、ヨーロッパから移動するのに必要とする時間スケールは、北海道エアが約14日であるのに対し、九州エアが約10日である。一方、北アメリカから移動するのに必要とする時間スケールは、北海道エアが約20日であるのに対して、九州エアが約14日である。これらの結果は、九州エアが、北海道エアと比較して、ヨーロッパまたは北アメリカ上空から短時間で移動してくる事が可能なことを示している。ただし、

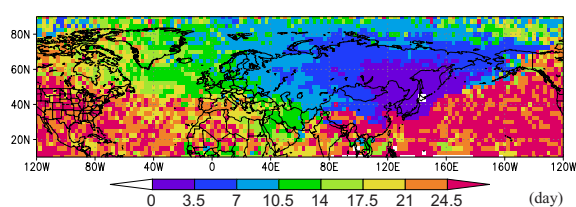


Fig. 9 Spatial distribution of the time scale of air parcel's displacement from interested areas toward the Hokkaido region in January, averaged for the period of 1980-2003.

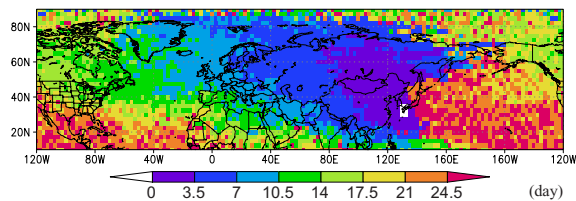


Fig. 10 The same as in Fig. 9, except for the Kyushu region.

この結果は、カラムグリッド上での解析に基づくものであり、今後、3次元グリッド上での解析が行われる必要がある。

前項や上記で明らかとなった北海道エアと九州エアの移動の空間・時間スケールの特徴が異なる原因を調べるため、北海道エアと九州エアの移動経路の月平均分布をアジア上空の鉛直断面で見たものが、それぞれFig. 11とFig. 12である。これらの図から、北海道エアは、バイカル湖(55N付近)の北側の対流圏下層付近の高度を移動して来ているのに対して、九州エアは、バイカル湖の南側の対流圏中層付近の高度を移動してきている。さらに、北海道エアと九州エアの移動経路の鉛直断面をヨーロッパ上空でみたのが、Fig. 13とFig. 14である。ヨーロッパ上空の北海道エアは、アジア上空の結果と同様に、主に対流圏下層付近を移動して来ている事がわかる。これに対して、ヨーロッパ上空の九州エアは、アジア上空と比較して、対流圏下層を通過する確率が高くなるが、主に対流圏中層付近の高

度を移動して来ている事が読み取れる。これらの結果から、アジアとヨーロッパ上空において、九州エアは、北海道エアよりも高い高度を移動して来ている事がわかった。また、九州エアは、北海道エアよりも高い高度を移動し、強い偏西風を伴いながら急速に移動すると考える事が出来る。そして、この特徴の違いが、前項で示した北海道エアと九州エアの移動の空間スケールに大きな違いを生じさせる原因になっていると考えられる。九州エアがアジア大陸の対流圏中層付近を移動する特徴は、九州エアがアジア大陸東岸で対流圏中層から急激に下降させられている事を意味している。日本の北部と南部に到達する空気塊の移動の空間スケールが大きく異なる原因を理解するためには、アジア大陸東岸における九州エアの急激な下降メカニズムを調べる必要があるが、この解析については、今後の課題としたい。

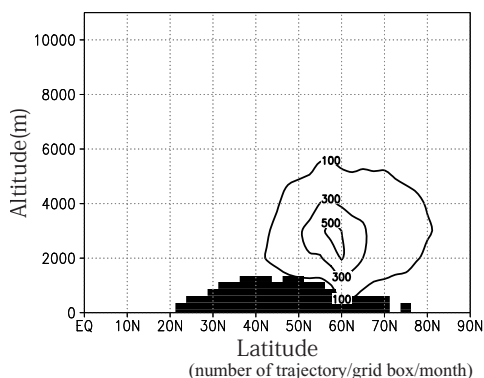


Fig. 11 Vertical distribution of the number of 25day backward trajectories of air parcels that arrived over the Hokkaido region along the 110E meridians in January averaged for the period of 1980-2003. Contours greater than 100 are indicated, with an interval of 200. The black shaded areas indicate the approximate height of the topography.

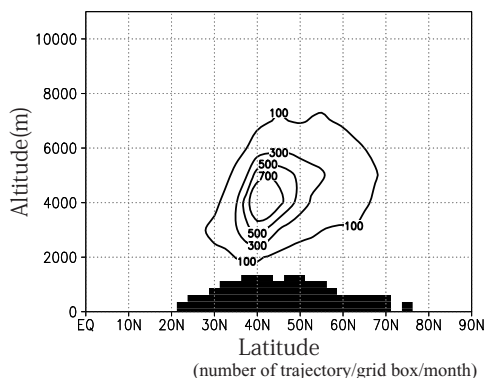


Fig. 12 The same as in Fig. 11, except for the Kyushu region.

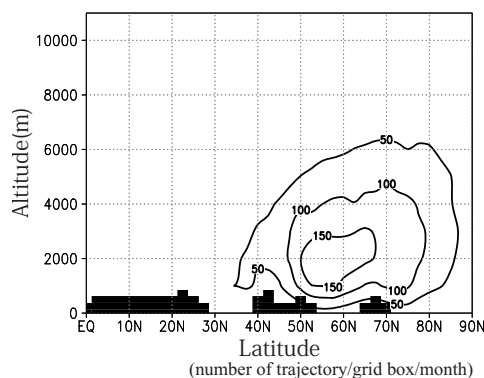


Fig. 13 Vertical distribution of the number of 25day backward trajectories of air parcels that arrived over the Hokkaido region along the 20E meridians in January averaged for the period of 1980-2003. Contours greater than 50 are indicated, with an interval of 50. The black shaded areas indicate the approximate height of the topography.

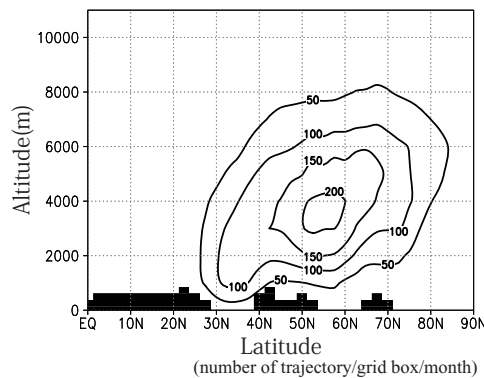


Fig. 14 The same as in Fig. 13, except for the Kyushu region.

3.2 世界各地に到達する空気塊移動の特徴

(1) 移動の空間スケール

前節では、冬季の北海道と九州に到達する空気塊の移動の空間スケールが大きく異なるのは、到達する空気塊の3次元的な移動経路の特徴に違いが生じている事が原因であることを示してきた。日本の北海道と九州は、距離にして約1000km程度しか離れていない。このため、地球規模でみて非常に近い位置関係にある北海道と九州に到達する空気塊の特徴が異なるという結果は、風岡・木田(2004)と風岡・木田(2005)でも議論されたように、日本付近での大気中の化学物質の輸送や大気循環のメカニズムを考える上で、非常に興味深い特徴といえる。しかしながら、この日本列島上での空気塊の移動特性の地域変化が、世界の他の地域でも認められる特徴なのか、また、世界の中でも稀な特徴なのかどうかについては不確かである。しかしながら、世界各地に到達する空気塊の3次元的な移動経路を世界地図上にプロットし、それを理解する事は、現時点において困難と考える。

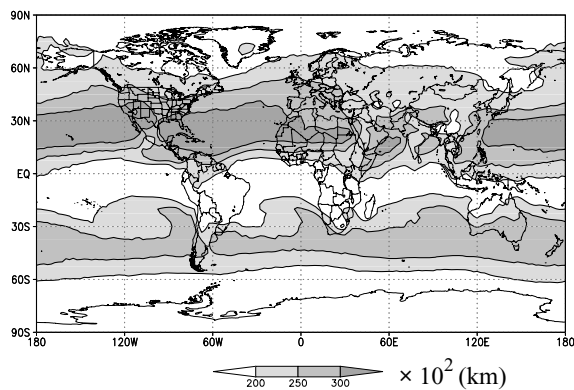


Fig. 15 Global distribution of the space scale of air parcel's displacement in January, averaged for the period of 1980-2003. The space scale during the past 25days is shown. The contour lines are drawn for 20000, 25000, and 30000km.

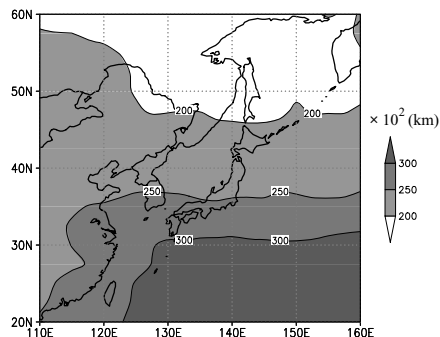


Fig. 16 The distribution of the space scale of air parcel's displacement in East Asia in January, averaged for the period of 1980-2003. The contour lines are drawn for 20000, 25000, and 30000km.

そこで、本研究は、世界各地に到達する空気塊移動の特徴を理解するために、Fig. 2で示したような全球の均一の地域に到達する空気塊の過去25日間の移動の空間スケールを計算した。そして、この世界の各地点での空気塊の移動の空間スケールを世界地図上にプロットした結果は、Fig. 15に示すとおりである。図は、1月の24年間の平均図である。この図から、1月に到達する空気塊の過去25日間の移動の空間スケールは、南北両半球ともに、中緯度地域において大きく、高緯度と低緯度地域において小さいという事がわかる。日本列島上に注目すると、前節で見出された結果と同様に、到達する空気塊の移動の空間スケールは、日本の北部と比較して、日本の南部で大きい特徴が認められる。また、北半球中緯度地域における空気塊の移動の空間スケールは、南半球中緯度地域と比較して大きい事が読み取れる。このため、南北両半球の中緯度地域に到達する空気塊の移動の空間スケールは、冬季の中緯度偏西風の強さの特徴と似ているように思われる。

さらに、この北半球中緯度地域の中でも、特に、太平洋や大西洋上において、空気塊の移動の空間スケールが大きい事が読み取れる。一方、高緯度地域に到達する空気塊の移動の空間スケール分布は、ユ

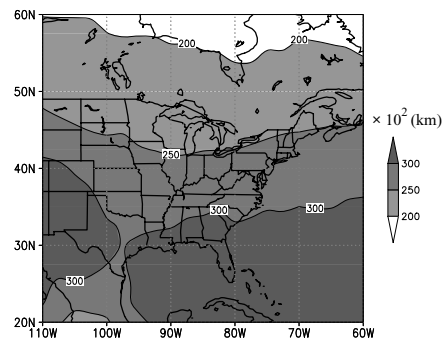


Fig. 17 The same as in Fig. 16, except for North America.

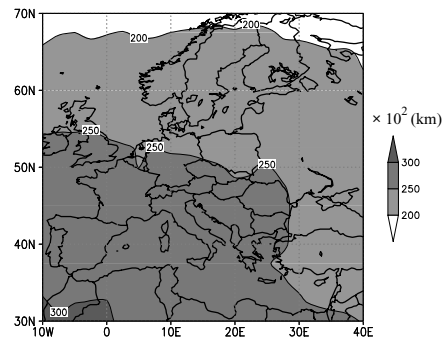


Fig. 18 The same as in Fig. 16, except for Europe.

ユーラシア大陸東岸と北アメリカ大陸東岸においてトラフ型となっているのに対して、ユーラシア大陸西岸のヨーロッパや北アメリカ大陸西岸においてリッジ型となっている。さらに、ユーラシア大陸東岸から太平洋西部にかけての地域および北アメリカ大陸東岸の地域では、移動の空間スケール分布の南北勾配が顕著に大きくなっているのに対して、ユーラシア大陸西岸と北アメリカ大陸西岸では、南北勾配が小さくなっている。Fig. 16, Fig. 17, およびFig. 18は、Fig. 15の世界分布の内、それぞれ日本付近、北アメリカ大陸東岸、およびヨーロッパ付近を拡大して示したものである。アジア大陸東岸に位置する日本付近は、北アメリカ大陸東岸と比較して、移動の空間スケール分布の南北勾配がより顕著な地域である。南北勾配の大きい北アメリカ大陸東岸では、日本付近と同様に、到達する空気塊の3次元的な移動経路が大きく異なっている事が示唆される。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(Kazaoka and Kida, 2005b; 風岡・木田, 2006)。

5. まとめ

本研究は、1980年から2003年の1月に日本付近に到達した空気塊のバックワード流跡線を解析した。そして、日本付近に到達する空気塊の過去の移動経路、移動の空間・時間スケールの気候学的特徴を調べ、それらの特徴が北海道と九州において、どのように異なるのかを調査した。本研究は、空気塊の移動の空間スケールを、ある一定の時間についてバックワードさせた空気塊流跡線の長さとして定義した。一方、空気塊の移動の時間スケールは、関心のあるグリッドから別のグリッドに移動するのに必要とする時間として定義された。

冬季において、到達する空気塊の過去の移動の空間スケールは、北海道と比較して、九州において大きいという事がわかった。この原因は、北海道に到達する空気塊は、ユーラシア大陸上の対流圏下層付近をゆっくりと移動して来ているのに対して、九州に到達する空気塊は、ユーラシア大陸上の対流圏中層付近を急速に移動して来ると考えられる。

さらに、この日本付近の空気塊の移動解析の結果を基に、全球の世界各地に到達する空気塊についても解析し、世界分布でみた空気塊移動の気候学的特徴を調べた。その結果、冬季北半球において、到達する空気塊の移動の空間スケールの大きい地域は、太平洋と大西洋の中緯度地域であったのに対して、小さい地域は、高緯度と低緯度地域であった。一方、

この空間スケール分布の南北勾配は、アジア大陸東岸と北アメリカ大陸東岸において顕著に大きく、ユーラシア大陸西岸のヨーロッパや北米西岸において小さいという事がわかった。アジア大陸東岸に位置する日本の北海道と九州に到達する空気塊移動の特徴を詳細に解析した結果を基に、この世界分布の特徴を見れば、全球の各地点に到達する空気塊の移動特性やその地域の特徴を考察する事が出来る。また、逆に、興味深い空気塊移動の特徴を示す地域を世界分布から見出す事が出来れば、その関心のある地域に到達する空気塊の移動経路などを調べることも必要になる。

対流圏における化学物質の輸送や大気循環の理解に貢献出来るように、空気塊移動特性の世界分布および関心のある地域の空気塊移動の特徴との関係に着目し、全球大気を駆け巡る空気塊移動の気候学的特徴、地理的特徴、季節変化、および年々変動などを調べる事を今後の課題としたい。

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、NOAA Climate Prediction Center から得た NCEP/DOE AMIP-II reanalysisのデータを流跡線計算のために使用させて頂きました。図の作成には、GrADSソフトウェアと地球流体電脳倶楽部の電脳ライブラリ(dcl-5.3.1)を使用させて頂きました。この研究の経費の一部は、文部省科学研究費補助金科学研究費No.14208062と海洋研究開発機構No.101050500002の補助を受けました。以上の各機関に御礼申し上げます。

参考文献

- 荒川秀俊・田原壽一(1948): 気團ごよみ, 気象集誌, Vol.26, pp.201-202.
- 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.
- 風岡亮・木田秀次(2005): 日本付近に到達する空気塊流跡線の季節変化(2), 京都大学防災研究所年報, 第48号B, pp.503-513.
- 風岡亮・木田秀次(2006): 空気塊の移動の空間・時間スケールのグローバルマップ, 平成17年度 研究集会講演集 第16回大気化学シンポジウム, pp.38-41. (1月11日から13日)
- Akimoto, H., Mukai, H., Nishikawa, M., Murano, K., Hatakeyama, S., Liu, C.-M., Buhr, M., Hsu, K.L., Jaffe,

- D.A., Zhang, L., Honrath, R., Merrill, J.T. and Newell, R.E.(1996):Long-range transport of ozone in the East Asia Pacific rim region, *Journal of Geophysical Research*, Vol.101, No.D1, pp.1999-2010.
- Ishizaka, Y., Kazaoka, R., Adhikari, M. and Jensen, J.B. (2004): The effect of CCN around the clouds on their microphysical properties: Aircraft observations over the sea near the Southwest Islands area in Japan, *Atmospheric Research*, in revision.
- 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.
- Kazaoka, R.(2003): The effect of CCN around the clouds on their microphysical properties – Aircraft observations over the sea near the Southwest Islands area in Japan, A thesis submitted in partial fulfillment of degree of Master of Environmental Studies, Nagoya University, 55pp. (January)
- Kazaoka, R. and Kida, H. (2004a): Seasonal changes of air parcel's trajectories arriving at the Japan Area, Extended Abstract (PIB.3, pp.4), 13th Joint conference on the applications of air pollution meteorology with the air and waster management association, American Meteorological Society, Vancouver, British Columbia, Canada. (23-26 August)
(<http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/79552.pdf>)
- 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, Halifax, Nova Scotia, Canada. (13-16 October)
- 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, San Francisco, USA. (13-17 December)
- Kazaoka, R. and Kida, H. (2005a): Interannual variability of air parcel's displacement arriving over Japan, ABC-EAREX 2005 Workshop CD-ROM, Kyoto, Japan. (29 June - 1 July)
- Kazaoka, R. and Kida, H. (2005b): Global map of scale in space and time of air parcel's displacement, Abstract, 5th Annual Meeting of the European Meteorological Society (EMS), AW5.1-0031, Utrecht, Netherlands. (12-16 September)
- Kazaoka, R. and Kida, H. (2006): Climatological and anomalous features of the trajectories of air parcels arriving over northern Japan in winter. (Submitted to SOLA (Scientific Online Letters on the Atmosphere))
- Kida, H. (1983): General circulation of air parcels and transport characteristics derived from a hemispheric GCM Part2. Very long-term motions of air parcels in the troposphere and stratosphere, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Vol.61, No.4, pp.510-523.
- 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.
- Noda, A. (1988): Generalized Lagrangian-Mean(GLM) meridional motions in the troposphere, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Vol.66, No.2, pp.201-226.
- 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. (1998): Computation, accuracy and applications of trajectories -A review and bibliography, *Atmospheric Environment*, Vol.32, No.6, pp.947-966
- 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.
- Tanimoto, H., Furutani, H., Kato, S., Matsumoto, J., Makide, Y., and Akimoto, H.(2002): Seasonal cycles of ozone and oxidized nitrogen species in northeast Asia 1. Impact of regional climatology and photochemistry observed during RISOTTO 1999-2000, *Journal of Geophysical Research*, Vol.107, No.D24, 4747, doi10.1029/2001JD001496.

Global Distribution of Space and Time Scale of Air Parcel's Displacement

Ryo KAZAOKA* and Hideji KIDA*

* Department of Geophysics, Graduate School of Science, Kyoto University, Kyoto, Japan

Synopsis

In order to examine the global features of air parcel's displacement, we analyzed the 25day backward trajectories arriving over regions homogeneously distributed in global. The space scale of air parcel's displacement over an interested region was defined as the length of backward air parcel's trajectories for a given fixed time scale. In winter, sharp gradients of it were found over east coasts of Asian and North American continents. This suggested that the Hokkaido region is close to the Kyushu region on a global scale, the original area of air parcels arriving over these areas were greatly different.

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