

B-1 気候・物質循環モデルによる気候変動の定量的評価に関する研究

(4) 対流圏大気システムモデルのための大気循環・物質輸送モデルに関する研究

研究代表者 国立環境研究所 鶴野伊津志¹

国立環境研究所

大気圏環境部 大気物理研究室 鶴野伊津志¹, 菅田誠治, 江守正多
(委託先) 九州大学工学部 小森 悟²
東京工業大学工学部 神田 学

*1 平成 10 年 4 月からは九州大学応用力学研究所

*2 現所属は京都大学

平成 9-11 年度合計予算額 4,047 千円

(平成 9 年度予算額 4,047 千円; 平成 9 年度のみ実施)

【要旨】

対流圏内の物質輸送プロセスを詳細に記述可能な対流圏大気システムモデルとして、CSU-RAMS と結合された on-line 輸送モデルを新たに開発してその評価を行った。モデルのテストは梅雨期を対象として行い、良好な結果が得られた。on-line モデルは地域気象モデルと同時に物質輸送を解くため計算機負荷が大きい、構成自体は比較的単純であり、今後の更なる発展が期待される。特に、RAMSは、気象客観解析データには含まれない鉛直風速、乱流エネルギー、雲・降水の詳細な時間・空間変化が得られることから、大気輸送・拡散への応用に適していることが確認された。

【キーワード】 大気循環モデル, 物質輸送モデル, サルフェート, 湿性・乾性沈着

1 はじめに

対流圏の温暖化物質（二酸化炭素やオゾン）の輸送や環境酸性化物質の長距離輸送研究（酸性雨）、地域気候・気象モデリング、対流圏・成層圏物質交換過程（オゾン等）の研究には、数値モデルが重要な役割を果たす。これらの研究は相互に強く関係しており、モデル研究においては、個々の事象を独立に扱うのではなく、物理・化学現象の共通部分の統合化を行い、総合的なモデルの開発と応用を積極的に進める必要がある。また、物理・化学過程の統合化を進めることは、研究を効率的に進める上でも極めて重要である。

本研究では、大気循環モデルから得られる詳細な微気象データと密接にリンクした物質輸送モデルをもとに、対流圏大気システムモデル構築の基礎を確立する。そのための大気循環モデルとしては、サブテーマ『全球規模の気候変動におけるエアロゾル・水の効果に関する研究』や『地域規模の気候変動評価に関する研究』で開発・改良される地域気象モデルや高分解能気候モデルの利用を前提とし、物質輸送モデルをこれらの気象モデルと同時に用いることで、最終的には大気放射を通じた物質分布の気象場へのフィードバックを含めた研究をすることを目標としている。

具体的な研究としては、空間スケール数千 km の対流圏界面以下の領域（インド～日本域程度）について、コンピューターシミュレーションにより、

- ・ 大気境界層中での鉛直拡散過程と多重ネステイングによる空間分解能向上
- ・ 衛星データ（雲・降水等）を利用した物質輸送モデルのためのデータ同化手法
- ・ 雲への物質の取り込み過程（大気水象を含むモデルと密接にリンクした物質輸送モデル）
- ・ 降水・降雪に伴う除去（湿性沈着）過程や乾性沈着過程

を解析する。図1には、対流圏大気システムモデルの概念図を示す。

2 対流圏大気システムモデルの開発

気象モデルとして、米国コロラド大学(Colorado State University: CSU)で開発された Regional Atmospheric Modeling System (RAMS)モデル(Pielke *et al.*, 1992)を用いる。CSU-RAMS は圧縮性非静力学方程式系からなり、雲・降水の微物理過程コード、雲の効果の入った放射コードなどが使用できる。様々なオプションの中から、乱流スキームは Mellor and Yamada のレベル 2.5 を使い、海水面温度(SST)には解析値を用いた。

詳細な気象モデルと結合した長距離物質輸送モデル(on-line モデル) を新たに開発した。ここで、on-line とは気象とスカラー拡散を同時に解くモデルを意味する。on-line モデルを用いると、毎時間刻み毎の乱流強度と大気安定度、雲・降水の3次元分布と湿性除去、積雲による鉛直輸送効果、地表面状態に対応した乾性沈着過程、反応系への気象パラメーターの直接的な受け渡し、気象モデルと同一のグリッドシステムによるマスの保存性確保等の特徴を持つ総合的気象・物質輸送モデルを確立することができる。

On-line モデルの対象物質として、 SO_2 , SO_4^2 (aerosol), SO_4^2 (aqua-phase)の輸送モジュールを新たに組み込んだ。モデルには、 $\text{SO}_2 \rightarrow \text{SO}_4^2$ の化学変化（変換速度は日射量の関数）、乾性沈着過程、発生源フラックス、RAMS 降水を用いた washout、雲水量を用いた rainout 過程を考慮した(SO_2 の初期濃度はゼロとした)。図2には対象とした物質変化の概念

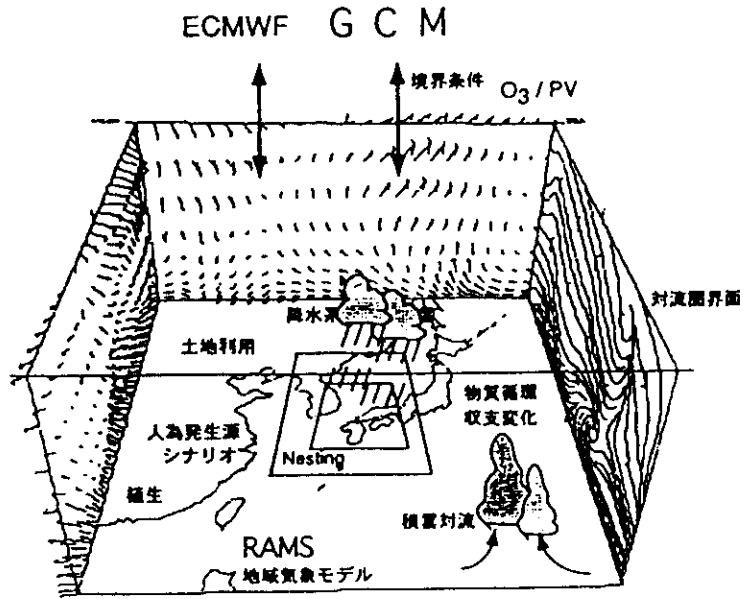
図を示す。なお、計算は、wet process を考慮しない wet off, wet process を考慮した wet on の2ケースについて行った。

3 結果と議論

シミュレーションは1991年6月8日09JST～28日09JSTまで21日間連続で行った。長時間積分のためにヨーロッパ中期予報センターECMWFの全球客観解析データをもとにDavis型(側方5メッシュ)の nudging で連続4次元データ同化(FDDA)を行った。

図3には、この on-line モデルによる梅雨季の硫酸塩の輸送結果を示している。図中のトーンは降水量分布を示し、日本南岸の梅雨前線に対応している。この結果は、中国大陸～朝鮮半島で発生した大気汚染物質が、日本の南岸にかかる梅雨前線の北部に停滞すること、梅雨前線の南北の移動に伴って九州～西日本域が大陸起源の大気汚染物質に被われることを明瞭に示している。図には示さないが、いくつかの管区気象台についてアメダス日降水量の比較を行ったところ、降水量は実測に較べて少な目であるが、降水の時間変化パターンをよく再現していることが確認された。

図4にはサルフェート観測値（ソウル，対馬，筑後小郡）と物質輸送モデルによるモデル結果の時系列の比較を示す。図中の実線は湿性除去を加味した結果(wet on)、点線は無視した結果(wet off)を意味す



精密な気象モデルを用いた on-line (or off-line) の物質輸送モデル
 対象：O₃, SO₂, SO₄ aerosol, 黄砂.....

図1 対流圏大気システムモデルの概念図

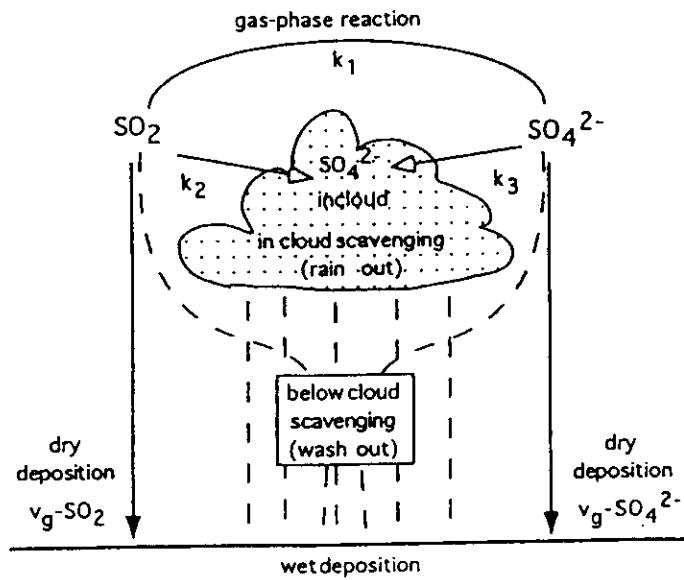


図2 オンライン物質輸送モデルで扱う物質

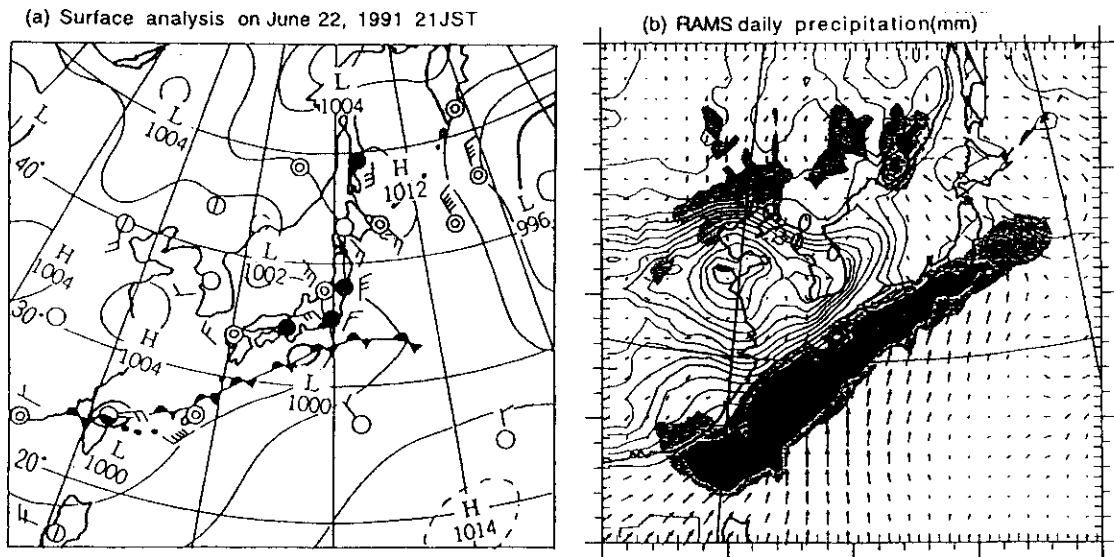


図3 (a)1991年6月22日の地上天気図, (b)RAMSで得られた降水量分布(トーン)とサルフェート濃度の等値線($\mu\text{g}/\text{m}^3$)。

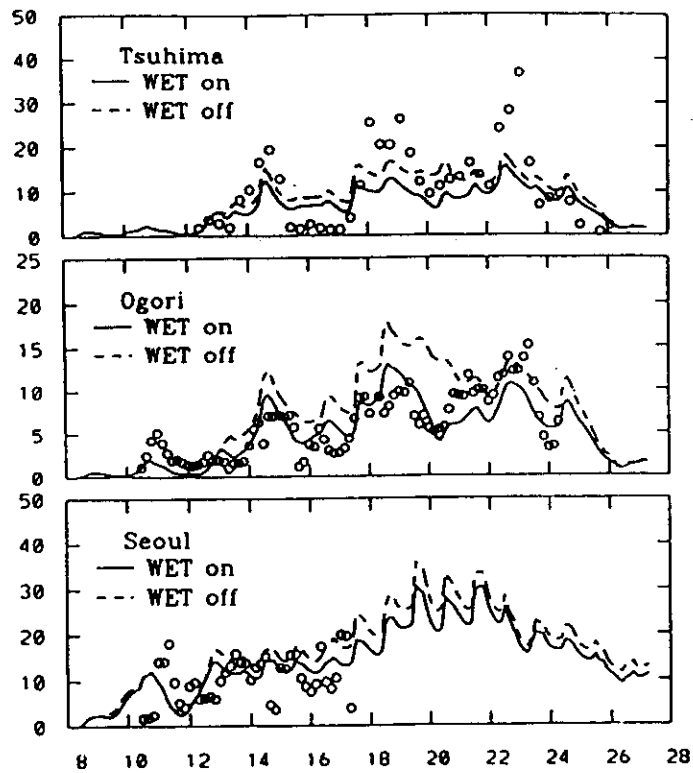


図4 SO_4^{2-} 観測値(ソウル, 対馬, 筑後小郡)と物質輸送モデルによるモデル結果の時系列。縦軸は SO_4^{2-} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), 横軸は日付(1991年6月)。図中の実線(wet on)は湿性除去を加味した結果, 点線(wet off)は無視した結果。

る。モデル計算は、鶴野ら(1997)と同様の SO_2 の発生源強度を与え、初期濃度をゼロとして行っている。モデルの結果は観測された SO_4^{2-} の観測値の時間変化の特徴を概ね再現していると考えられるが、液相・気相の交換過程の有無で結果が異なることから washout, rainout プロセスが重要であることが確認できる。

4 まとめ

対流圏内の物質輸送プロセスを詳細に記述可能な対流圏大気システムモデルとして CSU-RAMS と結合された on-line 輸送モデルを新たに開発してその評価を行った。モデルのテストは梅雨期を対象として行い、良好な結果が得られた。On-line モデルは地域気象モデルと同時に解くために計算機負荷が大きいが、構成自体は比較的単純であり、今後の更なる発展が期待される。特に、RAMS は、気象客観解析データには含まれない鉛直風速、乱流エネルギー、雲・降水の詳細な時間・空間変化が得られることから、大気輸送・拡散への応用に適している。しかし、積雲対流スキーム、4次元データ同化の nudging 係数や水平方向拡散係数の設定により降水量、汚染質濃度が現状で±20% 以上変化することから、詳細な検討が必要である。今後は、境界層中の乱流拡散、接地層安定度に基づく Wesely 型の乾性沈着、雲・降水による湿性除去、詳細な化学反応モデル、黄砂等の輸送を加味する方向で発展させるとともに、モデルの定量的な評価と酸性雨現象を含む実際の大気環境への応用を進める必要がある。

引用文献

Pielke, R.A. *et al.*: A comprehensive meteorological modeling system- RAMS. Meteor. Atmos. Phys., Vol.49, 69-91, 1992

鶴野伊津志, 大原利真, 森淳子, 宇都宮彬, 若松伸司, 村野健太郎: 東アジアスケールの長距離物質輸送・変質過程のシミュレーション、大気環境会誌, Vol. 32, 267-285, 1997.

[国際共同研究等の状況]

米国の研究者等と研究者レベルで共同研究を行なっている。

[研究成果の発表状況]

(1) 口頭発表

Uno, I. S. Emori and T. Ohara: East Asia scale long-range transport model coupled with Regional Atmospheric Modeling System (RAMS) - Application to early summer rainy season -, Proceeding of 3rd International Joint Seminar on the Regional Deposition Processes in the Atmosphere, 120-130, Nara, November 5-7, 1997.

(2) 論文発表

○ Jaffe, D., T. Anderson, D. Covert, R. Kotchenruther, B. Trost, J. Danielson, W. Simpson, T. Berntsen, S. Karlsdotir, D. Blake, J. Harris, G. Carmichael and I. Uno: Transport of Asian air pollution to North America, Geophys. Res. Let.,26, 711-714, 1999.

○ Uno, I, T. Ohara and K. Murano: Simulated acidic aerosol long-range transport and deposition over East Asia - role of synoptic scale weather systems, Air Pollution Modeling and its Application Vol., 22 (ed. S. E. Gryning and N. Chaumerliac), 185-193, Plenum Pub. Co., 1998.

○ 鶴野伊津志: 東アジアスケールの物質輸送と流体運動, ながれ, 18, 141-146, 1998