

II-404

微量化学物質の地球規模輸送／反応モデルについて
～NO, CH₄, Isopreneの地球規模輸送～愛知県庁 正会員 黒田 忠弘
豊橋技術科学大学 正会員 北田 敏廣

1. 序論

近年、大気中の各種微量気体の濃度増加とそれらの物質の地球大気における役割が次第に明らかとなり、問題となっている。大気汚染物質の中には、光化学的寿命が長く、地球全体に広がって気候変化をもたらす、地球規模生態系に悪影響を及ぼすものから、比較的光化学的寿命が短い、排出源の近くで深刻な大気環境の悪化を招くものまで様々なものが含まれる。しかし、いずれの物質も大気中の複雑な化学反応の過程を通じて互いに影響を及ぼしあっており、寿命が短い物質でも排出源が広く分布していれば地球規模で大気環境に影響を与える。しかもこれらの化学種の排出源の多くは人間起源であると考えられている。以上により、人間活動が地球大気にどのような影響を与えるかを時空間において予測することが可能なモデルの創作は、地球規模での排出源の制御や将来を見通す上でも大変重要かつ有用なことであると考えられる。本研究は、このような地球規模における多数の化学種の輸送／反応モデルの構築を目的としており、今回は特に、それぞれ特有の排出源分布を持つNOとCH₄, Isopreneの地球規模輸送の特徴について考察する。

2. 解析方法

モデルは、移流拡散モデル、気相化学反応モデル（今回は用いていない）、乾性沈着モデル、発生源モデルからなる。各化学種 i ($i=1, 2, \dots, 61$) に対する質量保存式は式(1)のような非線形偏微分方程式で表される。

$$\begin{aligned} & \frac{\partial X_i}{\partial t} + \frac{U}{r \cos \theta} \frac{\partial X_i}{\partial \phi} + \frac{V}{r} \frac{\partial X_i}{\partial \theta} + W \frac{\partial X_i}{\partial r} \\ &= \frac{1}{r^2 \cos^2 \theta} \frac{\partial}{\partial \phi} \left(E \phi \frac{\partial X_i}{\partial \phi} \right) + \frac{1}{r^2 \cos \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\cos \theta E \theta \frac{\partial X_i}{\partial \theta} \right) \\ &+ \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 E r \frac{\partial X_i}{\partial r} \right) + R_i(X_1, X_2, \dots, X_{61}) \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 ϕ, θ, r はそれぞれ経度、緯度、鉛直方向を表す。 X_i は第 i 番目の化学種の濃度、 E は各方向の渦拡散係数で、 $E \theta$ は一定、 $E \phi$ は緯度変化のみを考慮し、 $E r$ は高度、緯度、時間変化する。また、 U, V, W は風速の各方向成分を表し、気象研究所GCMのアウトプット（チェルノブイリ事故時）を本研究で用いる格子点網に割り付けている。数値計算法はLDD-FEMに従い、式(1)を3方向の輸送方程式と反応速度式に分割し、輸送方程式を重み付き残差法に基づくFEM（非対称重み関数）で、また化学反応項 R_i に対応する反応速度式をセミインプリシット／オイラー法により解析するよう、定式化されている。ここで、鉛直方向の境界条件として、成層圏内にある上層の境界では、各物質濃度を極小の値とし、フラックスの通過も許さないものとなっている。そして下層の境界条件では物質の排出と沈着を考慮している。図1, 2, 3 に本研究で用いたNO, CH₄, Isopreneの年間排出量とその強度比分布を示す。

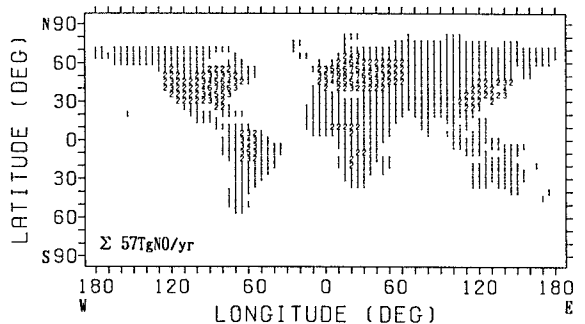


図1 NOの年間排出強度比分布

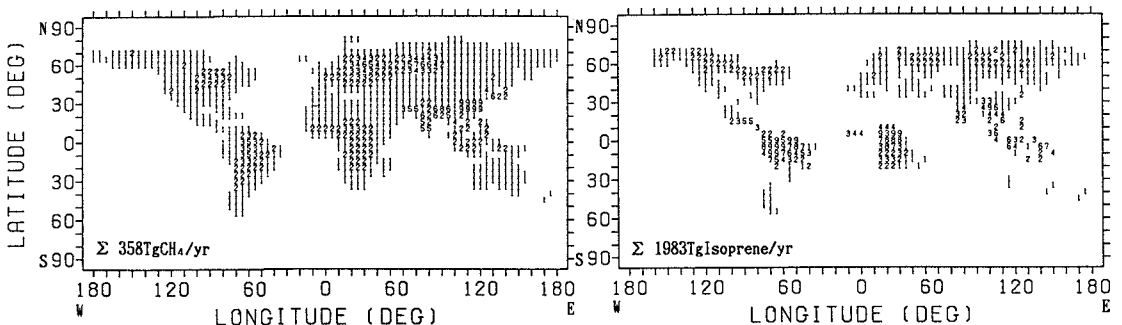
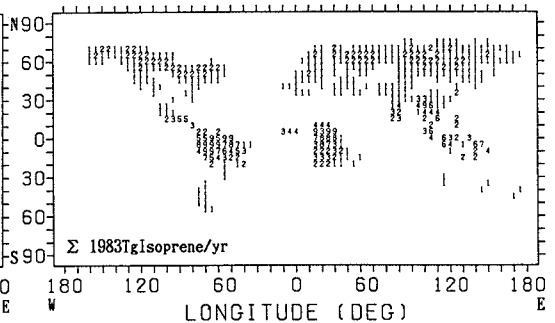
図2 CH₄の年間排出強度比分布

図3 Isopreneの年間排出強度比分布

3. 結果・考察

図1,2,3の排出源分布のもと、 NO と CH_4 とIsopreneの3種類の物質についてそれぞれ6日間分の輸送計算を行い、その結果から幾つかの所見を得た。図4,5,6にそれぞれ6日後の NO , CH_4 , Isoprene濃度分布を示す（高さ900m）。 NO , CH_4 はいずれも人間起源の排出源が5割以上を占めると言われているが、 NO が化石燃料の燃焼等、人間の工業活動に伴うものであるのに対して、 CH_4 は牧畜や水田など、主として農業活動に関連している。また、Isopreneは熱帯林や寒帯林から大量に放出されている自然起源の炭化水素である。

図4の NO 分布は地球規模輸送の幾つの特徴を明らかにしている。(i)東西方向の輸送が卓越している。特に、北半球の中、高緯度(50°N付近)では排出源が多く分布することに加えて、輸送速度が速く、そのため北大西洋の中央ではすでに2ppbを、またソ連のバイカル湖付近では5ppbを越えている。これらは、いずれも他地域からの輸送によるものである。この輸送に寄与するのは主として、中緯度の偏西風等であると考えられる。(ii)南北方向の輸送は遅い。その最も顕著な例として、南米と北米の間の低濃度地帯が挙げられる。この地域では大西洋からの偏東風が吹き込んでくるため、物質の南下、北上が妨げられ、この様に遅い物質輸送となる。(iii)南米の高濃度は、森林開発等のためのバイオマス燃焼によるものである。

図5の CH_4 分布が示す輸送特性は、当然 NO の場合と同じであるが、 CH_4 の場合は熱帯地方(東南アジア、インド、中央アフリカ等)にも相当量の排出源を有することから、そちらの方に視点をおく。図5からわかることは、(i)東南アジア、アフリカ、インドの赤道近くで放出された CH_4 は赤道偏東風に乗ってゆっくり西に移動する収束帯に存在し、南北にはあまり広がらない。(ii)20°N~30°Nのインド、バングラディッシュ方面から排出された CH_4 の一部は日本上空に運ばれる。

図6のIsoprene分布は、赤道地方と北半球の高緯度地方における輸送特性を明らかにしている。(i)高緯度地方では大陸全体にわたって高濃度領域が広がっていくのに対して、赤道地方では風系の関係で排出源付近に留まって高濃度化する傾向にある。(ii)高緯度地方からのIsopreneの南下は非常に遅く、むしろ高緯度地方に留まり、中緯度地方から輸送されて来た物質と混合することになる。

4. まとめ

図7にこれら3つの物質を代表して、 NO の2ppb等濃度線の6日目までの時間変化(12hr毎)を示す。計算開始から6日後で2ppb等濃度線は北半球をおおよそ取り巻く(60°N付近)。この過程として、大陸上では速やかに東方へ輸送される傾向が強いが、北極から吹く風により北上は妨げられている。また、北半球から南半球への NO の進入は極めて微量であり、南北両半球間の物質交換に対する障壁は相当大きいものと考えられる。

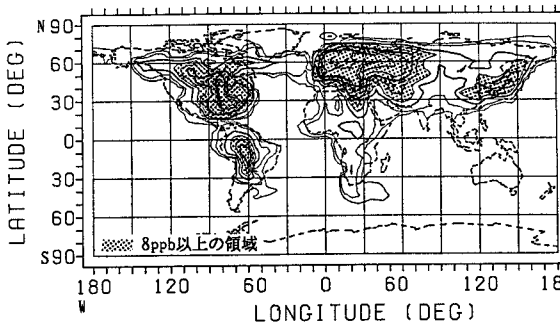


図4 6日後の高度900m面における NO 濃度分布

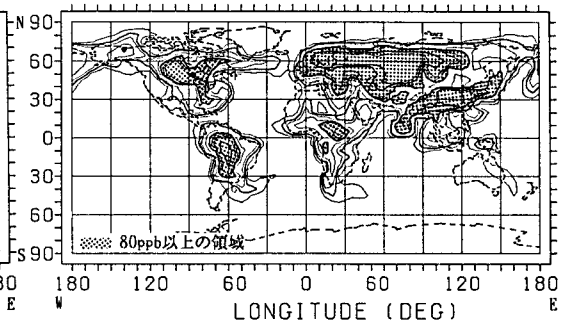


図5 6日後の高度900m面における CH_4 濃度分布

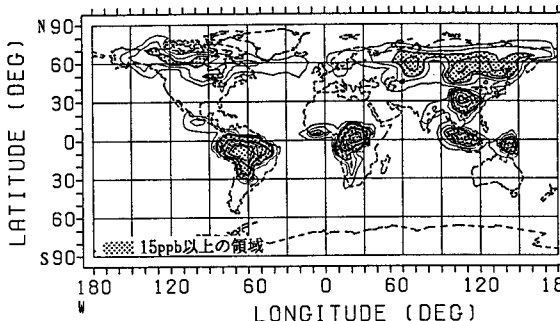


図6 6日後の高度900m面におけるIsoprene濃度分布

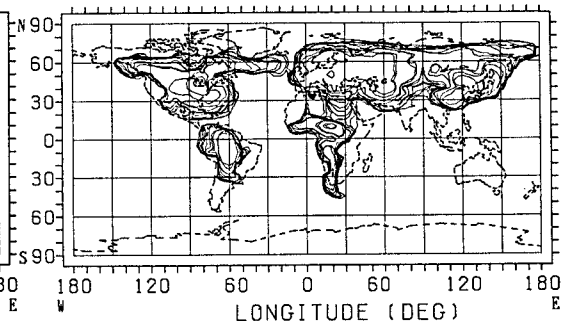


図7 高度900m面での NO 濃度線(2ppb)の時間変化