

環境放射能の大規模循環モデル

大西輝明(CRC)

1. 序

長寿命放射性核種が放出源を起点としていかに環境中を循環し、さらに環境の汚染を介していかに生態系に影響を及ぼすかについては多数の議論があり、シミュレーションモデルもいくつか公表されているが、これらは狭い領域や環境の一部空間でのみの物質挙動の追跡を目的とするものが多い。以下ではシステムダイナミックスの手法により、生物圏をも含めたすべての環境空間に渡った世界的な規模での放射性物質の拡散を取り扱うモデルを構築する。

2. 核種循環モデル

地球環境を上記の手法で記述するために、地球表面の陸地部および海洋部を各々複数個の領域に細分する。ここでは陸地部を8領域(南北アメリカの各大陸、ヨーロッパ、ソビエト連邦、アフリカ大陸、アジア、オーストラリア大陸、南極大陸)、海洋部表面を7領域(北大西洋北部、南北の各大西洋、南氷洋、インド太平洋の各南北部、北太平洋)に細分するものとし、各領域の表面積を断面積とする地圏—大気圏の垂直カラム、および7領域化した海面上に立つ大気圏の垂直カラムを考慮する。これらの気圏カラムはすべて、大気圧200mb以下の成層圏、200~500mb区間の上部対流圏および下部対流圏に分割する。大気圏は従って、陸地部で $3 \times 8 = 24$ 、海洋部で $3 \times 7 = 21$ のボックスに分割されるが、大気の流動を介して、隣接する大気圏ボックス間では相互に核種が移流し得るものとする。

一方、地圏部は地殻部と陸水部より成るが、地殻部分は表面土層および深度1m以深の深層土層より成るとし、これらの層には表面層間隙水および地下水が含まれているとして各々のボックスを設定する。陸水部は湖沼および河川に分割し、さらに湖沼堆積土層と河川堆積土層を設定する。モデルの簡素化のために隣接領域地圏間での相互作用は無視するものとし、核種は各領域内の8個の地圏ボックス内を循環するものとする。

海洋圏では海水部分を表面水、中間層水、および深層水に対応する三層に分割するものとする。ここでは海水部を11ボックス(北大西洋、大西洋表面水、大西洋北部および南部の中間層水、大西洋深層水、南氷洋表面水および深層水、インド太平洋の表面水、中間層水および深層水、北太平洋)に分割する。さらに、北大西洋、大西洋、南氷洋およびインド太平洋の各々に対応する堆積土層ボックスも考慮する。

各領域内での気圏部および地圏部、又は気圏部および海洋圏部の間では、大気中の核種の乾性および湿性沈着、微細土粒子の再浮遊および陸水(又は海水)蒸発に伴なり共蒸留の各々に起因する大気中への核種の移行、海塩エアロゾル粒子生成に付随した大気中への核種移行などの相互作用を持ち、さらに隣接する陸地部と海洋表面水部は、河川水および地下水が海洋へ流入する事による相互作用を持つものとする。以上の地球環境モデルを図1に示す。ボックス間での核種の移行速度定数の算出には、地殻の物性値等の他に地理学的、気象学的データをも用いて行なう。さらに、気圏(および海洋圏)ボックス間での大気(海水)の移流速度定数の算出には、各ボックスに含まれる大気(海水)質量が保存される条件も課す。

環境容量は十分に大きいものとし、簡単化のために生物圏へ流入する核種は人間をも含めた生体内を循環するが、生物圏から環境へ流出する核種量は環境圏のそれに比して十分に小さいものとする。当モデルにおける生物は食物および飼料用の植物、家畜および畜産物、および水中生物の三カテゴリーとし、生体内での核種挙動の相違を考慮して、各々をさらに4, 5, 4個のサブカテゴリーに細分する。また、16種の決定器官をボックスとする人体内代謝モデルをも付加して、人体内での核種の循環を検討し得るものとした。生物圏モデルについては、他の場所で詳述する¹⁾。

3. 核実験による放射性核種の実環境循環

当モデルを用いて、核実験で解放された核種をソースタームとする放射性核種大規模循環の様相を検討した。公開された核実験規模から、各領域の大気圏ボックスに投入された ^{90}Sr , ^{137}Cs , および $^{239+240}\text{Pu}$ の量を1カ月単位で算出し、これをソースタームとした。核種の循環を記述する連立微分方程式を1カ月の時間幅で積分して、1945年以降のこれらの核種の実環境ボックス内での濃度推移を追跡した。図2に結果の一例を示す。モデルから算出した濃度変動は観測とよく一致し、当モデルが地球規模での核種の循環をよく模倣するものである事を示唆する。

環境圏濃度の時間変動から、生物圏ボックスにおけるこれらの核種の循環状況も導出できるが、これらも一般に測定値とよく合致する事がわかった。50年間に渡る生物圏をも含めた核種循環を追跡するには、CRAY-XMPで約500秒の計算時間を要する。

1) 大西：日本原子力学会誌，印刷中

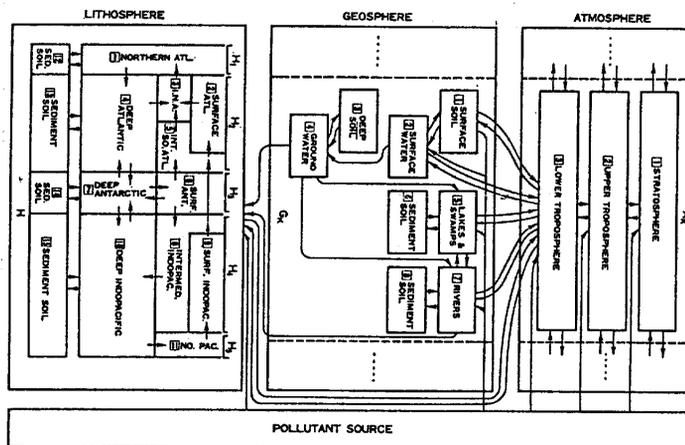


図1 地球環境モデルの概念図

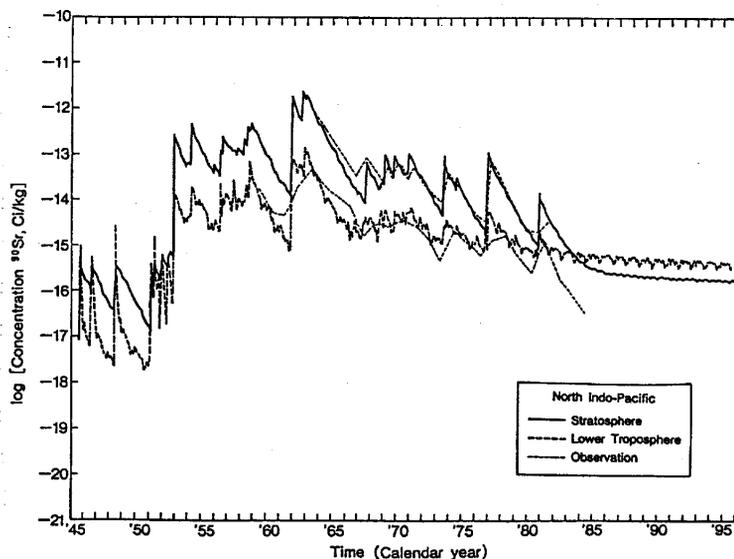


図2 核実験起源の大気中 ^{90}Sr 濃度の変動