

太平洋海中の放射性核種 (Cs-137, Sr-90, Pu-239/240) の濃度計算

CALCULATIONS OF THE CONCENTRATION OF RADIONUCLIDES (Cs-137, Sr-90, Pu-239/240) IN THE PACIFIC OCEAN

長谷川一幸¹・和田明²・西村玲輔³・高野憲治⁴

Kazuyuki HASEGAWA, Akira WADA, Ryosuke NISHIMURA and Kenji TAKANO

¹学生会員 工修 日本大学大学院 生産工学研究科 (〒275-8575 千葉県習志野市泉町1-2-1)

²正会員 工博 日本大学教授 生産工学部土木工学科 (〒275-8575 千葉県習志野市泉町1-2-1)

³学生会員 日本大学大学院 生産工学研究科 (〒275-8575 千葉県習志野市泉町1-2-1)

⁴理博 コロンビア大学準教授 Lamont-Doherty Earth Observatory (61 Route 9W Palisades, NY, USA)

To understand the flow fields in the Ocean is very important. In a peculiarly, it is gradually found to that Kuroshio's meander and temperature fluctuations in the Ocean affect the climate change of all the world included in Japan. We attempt to reproduce the Pacific Ocean flow fields to use a data assimilation system. The calculated flow fields also appear to be quite good and agree reasonably well with surface drifter observations calculated by Y. Michida. And the coefficient of correlation is $r=0.74$ in the zonal component. And we calculate the concentration of radionuclides (Cs-137, Sr-90, Pu-239/240) in the Pacific Ocean to use flow fields that is estimated by a data assimilation system. And this analysis estimates not only the flow fields but also the prediction of diffusion that is relevant to nuclear energy plant troubles and the evaluation of substances that is caused by atomic submarines troubles. Results of the concentration of radionuclides (Cs-137, Sr-90) in the Pacific Ocean are very good, compared with observation values (HAM database). So we can prove the reproducibility of the flow fields in the mid-depth deeper.

Key Words : Pacific Ocean , Radionuclides , Flow fields in the mid-depth deeper , Data assimilation

1. はじめに

国土の四方を海で囲まれている我が国にとって、海洋の流動場がどのようなになっているのかといった問題は、船舶等の航海安全上の観点や汚染物質（石油・化学物質・放射性物質）の拡散状況を把握する上で重大な課題であった。特に近年では黒潮の蛇行や海洋の水温場の変動が我が国を含む地球規模の気象変動に大きく影響してくることが徐々に明らかにされてきているため、その重要性は高まるばかりである。しかしこれらの現象をすべて観測していくということは、技術的にも経済的にも至難の業である。現状では数値モデルを用いて観測網を補い、海洋の諸現象をとらえることが最も現実的な手段であろう。しかしながら数値モデルによる計算では、計算機の能力や基礎方程式の近似等による誤差および境界条件の設定方法等により十分な精度を持った流動解析結果

を得ることは非常に困難である。

そこで観測値とモデル計算値を比較し、その誤差をタイムステップ毎に修正するデータ同化手法を用いて太平洋上の海流場をこれまで再現してきた¹⁾。

その結果、道田²⁾が行った漂流ブイ軌跡から算出した表面海流平均結果との比較では、観測域が北赤道海流、黒潮域付近しか含まれていないが、流速の大きい東西成分では相関係数 $r=0.74$ という非常に高い相関が得られた。流速の小さい南北成分では相関が小さかったものの、今回の計算結果は非常に良好であったと考えられる。

しかしながら中層以深の流れを評価することは現在の観測網では困難である。そこで、本研究では核実験・原子力発電所事故に起因するフォールアウトに着目し、海洋大循環モデルによって求められた流動場を基に海洋中核種 (Cs-137, Sr-90, Pu-239/240) の濃度計算を行う。そして気象研がとりまとめた観測結果 (HAM データベース³⁾) と数値解析で求められた濃度解析結果を比較する

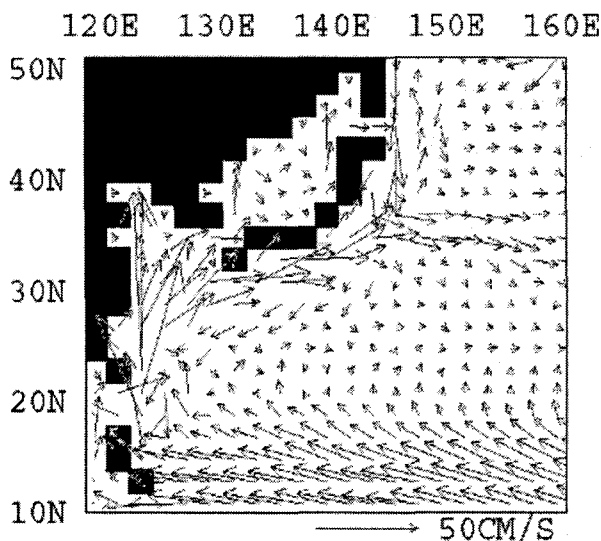


図-1 データ同化手法によって求められた日本近海の表層流動場

ことで、特に中深層での流速場の再現性を検証する。

2. 海洋大循環モデルの概要

本研究を遂行するにあたり、海洋の流速成分は、Primitiveなモデルを使用して算出した。

計算海域は太平洋全域を対象とし、モデルの解像度は水平方向の計算メッシュは経緯度 $2^\circ \times 2^\circ$ (110E～70W, 60N～74S, C grid)、鉛直層分割層は、第1層：0～20m、第2層：20～50m、第3層：50～100m、第4層：100～200m、第5層：200～400m、第6層：400～800m、第7層：800～1500m、第8層：1500～2500m、第9層：2500～3500m、第10層：3500～4500m、第11層：4500～5500m、の11層としている。また、基礎方程式の座標系は水平方向に球面座標を用いている。本モデルの特徴として、塩分の保存式、ポテンシャル水温の保存式にSarmiento and Bryan⁴⁾にならない、計算値と観測値を同化させる項を導入した。このことにより、観測データは同化項を通じて連続的にモデルに同化され、計算値が観測値から大きく離れるのを防ぐ効果があり、より現実的な流動場を再現させる。

$$\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + (\vec{u} \cdot \vec{\nabla}) \vec{u} + w \frac{\partial \vec{u}}{\partial z} + f \mathbf{k} \times \vec{u} = -\frac{1}{\rho_0} \vec{\nabla} p + A_H \vec{\nabla}^2 \vec{u} + A_V \frac{\partial^2 \vec{u}}{\partial z^2} \quad (1)$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g \quad (2)$$

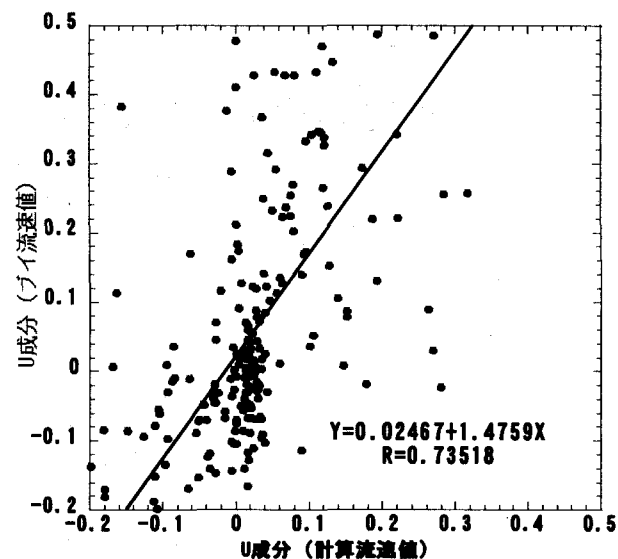


図-2 計算流動場と道田が求めたブイ観測値から得られた流速平均場の東西成分の相関

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{u} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + (\vec{u} \cdot \vec{\nabla}) \theta + w \frac{\partial \theta}{\partial z} = K_H \vec{\nabla}^2 \theta + K_V \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} + \gamma (\theta^* - \theta) \quad (4)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + (\vec{u} \cdot \vec{\nabla}) S + w \frac{\partial S}{\partial z} = K_H \vec{\nabla}^2 S + K_V \frac{\partial^2 S}{\partial z^2} + \gamma (S^* - S) \quad (5)$$

$$\rho = F(\theta, S, p) \quad (6)$$

$$\gamma = \gamma_D + (\gamma_S - \gamma_D) e^{-z/h} \quad (7)$$

ここに、 $\vec{u}$ ：水平流速ベクトル、 $\vec{\nabla}$ ：球面座標の水平ナブラ演算子、 $\vec{\nabla}^2$ ：球面座標の水平ラプラスアン、 w ：鉛直流速、 p ：圧力、 ρ ：密度、 θ 、 θ^* ：それぞれポテンシャル水温の計算値、ポテンシャル水温の観測値、 S 、 S^* ：それぞれ塩分の計算値、塩分の観測値、 f ：コリオリパラメータ、 g ：重力加速度、 γ ：補正項である。また、 A_H ：水平渦動粘性係数 ($1.0 \times 10^7 \text{cm}^2/\text{s}$)、 A_V ：鉛直渦動粘性係数 ($1.0 \times 10^2 \text{cm}^2/\text{s}$)、 K_H ：水平渦動拡散係数 ($1.0 \times 10^6 \text{cm}^2/\text{s}$)、 K_V ：鉛直渦動拡散係数 ($1.0 \times 10 \text{cm}^2/\text{s}$) とした。ここで、 A_H 、 A_V 、 K_H 、 K_V の値は和田⁵⁾らが計算で用いた値に基づいて設定した。 γ_S ：海表面値 ($1/50\text{day} = 2.31 \times 10^{-7} \text{sec}^{-1}$)、 γ_D ：深水深での値 ($1/250\text{day} = 4.6 \times 10^{-8} \text{sec}^{-1}$) はSarmiento and Bryan⁴⁾によって定められた定数、 z ：計算深度、 h ：500mとした。

3. 海洋大循環モデルの表層流動場の検証

海上保安庁水路部では、表面海流観測用の漂流ブイを年間3～5個太平洋上で放流してきている。1987年～1994年にかけては、約100個のブイが放流され、このブイの軌跡のデータから道田は日本近海(10N-50N, 120E-160E)の表面海流の平均場を算出している。この平均場と海洋大循環モデルによって算出された流動場の比較を行った。

図-1に今回ブイデータとの比較を行った海域で、データ同化手法で求められた流動場を示す。この海域での流速の大きい東西成分では相関係数 $r=0.74$ という非常に高い相関が得られた(図-2)。一方、流速の小さい南北成分では相関係数 $r=0.25$ と相関が小さかった。しかしながら、検証対象の海域では黒潮・北赤道海流などの東西成分の大きい流れが大半を占めていること、流速が小さく流向が複雑な亜熱帯反流海域を含んでいること、流速の東西成分は南北成分に対して平均で約7.5倍程度大きいという結果が得られたことを考慮すれば、今回の計算結果は非常に良好であったといえるであろう。

この様に日本近海での表層の流動場に関しては、その再現性が良好であったことが確かめられた。今後モデル計算結果との比較を行う上で、観測網が整備され広範囲でデータが収集されることが望まれる。

しかしながら、中層以深の流れを評価することは現在の観測網では困難である。そこで、本論では核実験・原子力発電所事故に起因するフォールアウトに着目し、データ同化手法によって求められた流動場を基に海洋中核種(Cs-137、Sr-90、Pu-239/240)濃度の再現計算を行う。そして気象研がとりまとめた観測結果(HAMデータベース)と数値解析で求められた濃度解析結果を比較することで、特に中深層での流速場の再現性を検証する。

3. 太平洋を中心とした放射性核種データ

放射性核種は、太陽から放出される宇宙線生成核種や火成岩の花コウ岩などに存在するウラン及びトリウムが壊変して生成されるラドンのような自然放射性核種と核爆発実験や原子力施設から放出される人工放射性核種に大別できる。自然放射性核種については、岩石・土壌・建材・食物等地球の至る所から放出されているため放出起源が特定できないが、人工放射性核種は、その主な発生源は大気圏内核実験や原子力施設からの流出であるためフォールアウト量の観測は比較的容易で、かつ継続的に行われてきたこともあるため、地上・海洋中のデータも比較的豊富である。また、北半球中緯度付近で核実験が多く行われたため、フォールアウト量の観測も北半球中緯度(30N～40N)が中心である。1950年代から1960年代前半にかけて大規模な核爆発実験が行われた結果、

海洋生物資源の汚染とそれによる人体への被曝という観点から海洋中における放射性物質挙動・分布は全世界規模で調査・研究され、多数の報告⁶⁾⁷⁾が公表されている。そこで、本論では人工性放射性物質のうち比較的観測点が多く、観測期間が長いCs-137、Sr-90、Pu-239/240に関して、太平洋を中心とした海洋核種濃度実測結果のデータベースを使用して解析を行った。

4. フォールアウト量の再現方法

フォールアウト量は、緯度方向には大きく変化するが、経度方向の変化は比較的少ない。また、湿式沈着が大部分(90%以上)を占めるため、降雨量との相関が高いと考えられている。また、海洋中の放射性核種の濃度再現計算を行うには、全海洋上のフォールアウト量が分かっていると計算が行えない。そこで本論では、これらの特徴を考慮に入れ、全海洋上のフォールアウト量を以下の式により設定した。

$$F(\lambda, \phi, t) = F_0(t) \frac{P(\lambda, \phi)}{P_0(t)} \varepsilon(\phi) \quad (8)$$

ここで、 $F(\lambda, \phi, t)$: 海洋表層における年間フォールアウト推定量(Bq/m^2)、 λ, ϕ, t : 緯度、経度、時間、 $F_0(t)$: 気象研所在地で観測された年間フォールアウト観測量(Bq/m^2)、 $P(\lambda, \phi)$: 全海洋上の降雨量の平均値(mm/year)、 $P_0(t)$: 気象研所在地で観測された年間降雨量(mm/year)、 $\varepsilon(\phi)$: 大気中核種の緯度方向(ϕ)濃度の重み付け係数とする。

また、放射性核種は降雨量との相関が高いが、実際のフォールアウト量と降雨量は完全な比例関係にはない。これは、核実験のそのほとんどが北半球で行われていることや、実験の行われていない赤道域で降雨量が非常に多いことなどが挙げられる。そこで、本研究ではMonetti⁸⁾によって観測されている緯度毎のSr-90の総フォールアウト量分布図を基に緯度毎に $\varepsilon(\phi)$ を設定し、降雨量分布を修正している。

5. 総フォールアウト量との比較

(8)式によって各年のフォールアウト量が決定されたが、この修正だけでは設定したフォールアウト量がPlayford et al.⁹⁾によって推定されている全球の積分値と比べて正しい量を設定できているかの保証はない。そこで、(9)式の修正係数を用いてPlayford et al.によって算出されたフォールアウト量の経年変化(推定

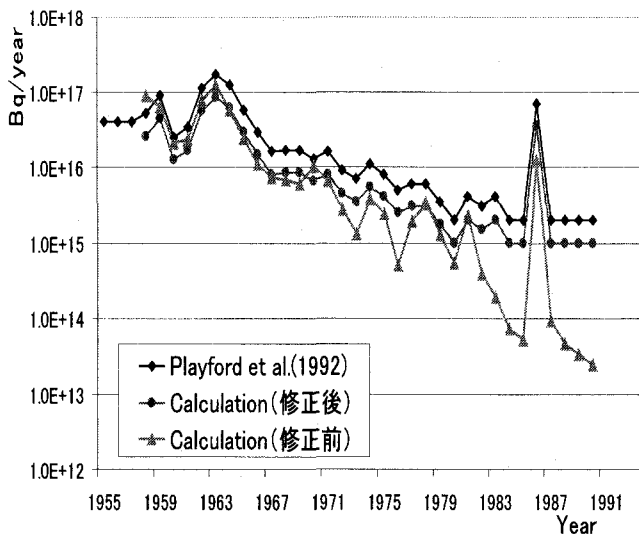


図-3 Playford et al.によって見積もられたCs-137の全球推定量と計算で用いた設定値

値) に対して50%になるように修正した。これは Playford et al.によって求められている推定量が全球の値であるのに対して、本計算領域は太平洋全域(全海洋の約50%)であるためである。ただし、地上に降り注いだ放射性物質は、減少することなく再び大気中に巻き上げられ海洋上に降り注ぐものと仮定する。

$$F^*(\lambda, \phi, t) = F(\lambda, \phi, t)\gamma(t) \quad (9)$$

ここで、 $F^*(\lambda, \phi, t)$: 海洋表層における年間フォールアウト推定量(Bq/m²)の修正後総量、 $\gamma(t)$: Playford et al.によって算出されたフォールアウト量推定値から定めた修正係数である。

(9)式で設定したフォールアウト量は図-3のようになり、 $\gamma(t)$ によって修正後のフォールアウト量はPlayford et al.によって求められた推定値の変動にリンクして推移し、修正前に比べ妥当なフォールアウト量を設定していることがわかる。

6. 海洋中核種濃度解析モデル

フォールアウトにより海洋中に降り注いだ放射性核種は、海洋中の流れの移流拡散により希釈される。また分散・希釈過程において、核種毎に特有の崩壊が生ずるとともに、核種が海洋中の懸濁物質に吸着し沈殿除去される現象(スキヤベンジング)の影響を受ける。放射性各種濃度の海洋中の基礎式は、こうした諸現象を考慮して、次式で表す。計算に使用した流速場はデータ同化手法で求められた流速場を使用する。座標系は球面座標(λ , ϕ , z)を採用し、 λ は緯度、 ϕ は経度、 z は鉛直上向

表-1 設定係数総括表

係数の意味		係数の値
u, v, w : 移流速度(m/s)		データ同化計算で求められた流速値
K_H : 水平方向拡散係数(m ² /s)		1.0×10^2 m ² /s
K_V : 鉛直方向拡散係数(m ² /s)		1.0×10^{-3} m ² /s
放射性核種の半減期($=1/\lambda_n$)	Cs-137	30年
	Sr-90	28.8年
	Pu-239	24100年
	Pu-240	6540年
K_d : 放射性核種の分配係数(m ³ /g)	Cs-137	2.0×10^{-3} (m ³ /g)
	Sr-90	2.0×10^{-4} (m ³ /g)
	Pu-239, 240	1.0×10^{-1} (m ³ /g)
$\rho_s(z)$: 懸濁物質の濃度(g/m ³)		表層濃度: $\rho_s(0)=0.25$ (g/m ³) (全海洋一様と仮定)
		表層以深の分布(d : 深さ): $\rho_s(d) = \rho_s(0) \times 10^{-0.0005d}$
W_s : 懸濁物質の沈降速度(m/s)	大粒径 (50 μ m以上)	構成比 $a_1=0.04$, $W_1=100$ (m/day) $W_s = 1.16 \times 10^{-3}$ (m/s)
	小粒径 (50 μ m以下)	構成比 $a_2=0.96$, $W_2=100$ (m/year) $W_s = 3.17 \times 10^{-6}$ (m/s)
	平均粒径	構成比 $W_s=a_1 \times W_1 + a_2 \times W_2$ $W_s = 4.93 \times 10^{-5}$ (m/s)

きを正とする。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + L(C) = R(K_H, K_V, C) - \lambda_n C + K_d \rho_s(z) w_s \frac{\partial C}{\partial z} + F^*(\lambda, \phi, t) \quad (10)$$

ここで、左辺第1項は濃度の時間変化項であり、左辺第2項は移流項を表している。また、右辺第1項は拡散項を示し、第2項は核種の崩壊を表し、第3項はスキヤベンジング項である。また、各変数の定義は以下のとおりである。

C : 放射性核種濃度(Bq/m³)、 t : 時間(s)、 K_H : 水平方向拡散係数 (1.0×10^6 cm²/s)、 K_V : 鉛直方向拡散係数 (1.0×10 cm²/s)、 λ_n : 放射性核種の崩壊定数($=1/\text{半減期}$) (1/s)、 K_d : 放射性核種の分配係数(m³/g)、 $\rho_s(z)$: 海洋中の懸濁物質の濃度(g/m³)、 $w_s(>0)$: 懸濁物質の沈降速度(m/s)、 $F^*(\lambda, \phi, t)$: 年間フォールアウト推定量(Bq/m²)である。ただし、 K_H, K_V はデータ同化手法で用いた値と同値とし、 $F^*(\lambda, \phi, t)$ は(17)式で求めた値を混合層厚20mで割ったものを使用している。

式(18)の左辺第2項の移流項は、球面座標系での流速成分を(u, v, w)とすると次式で与えられる。但し、 a は地球の半径である。

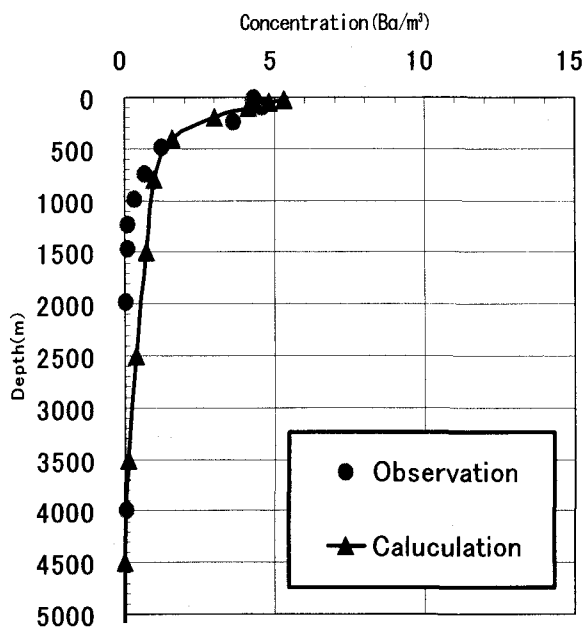


図-4 1986年におけるCs-137の濃度鉛直分布(東経146度・北緯30度)

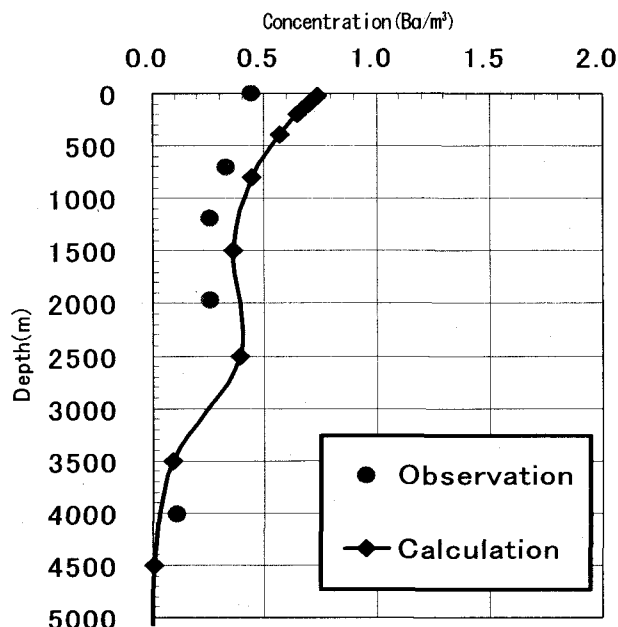


図-5 1979年におけるSr-90の濃度鉛直分布(東経137度・北緯32度)

$$L(C) = \frac{1}{a \cos \phi} \left[\frac{\partial}{\partial t} (uC) + \frac{\partial}{\partial \theta} (v \cos \phi C) \right] + \frac{\partial}{\partial z} (wC) \quad (11)$$

海洋中核種濃度の計算は、気象研究所による実測値が存在する1958年から1994年のうち、Cs - 137、Sr - 90、Pu - 239/240の各年次データの揃っている1993年までの36年間を計算対象にした。

(9)式によって設定した年毎の海洋上フォールアウト量を海面境界条件とし、混合層厚(20m)の層内で濃度一様と仮定して投入することとする。計算の初期条件として、海洋中の核種濃度は0と仮定し、海洋中に存在する核種濃度は表層からフォールアウト量のみにより与えられるものとした。海底に到達した核種は、そのまま海底内に逃がすこととした。計算海域・計算メッシュおよび地形データは海洋大循環モデルの計算で利用したものと同様である。また、濃度計算に用いる各係数は、既往の文献等⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾⁾により表-1のように設定した。

7. 濃度解析結果

海洋中核種(Cs-137、Sr-90、Pu-239/240)の濃度計算は、フォールアウトデータの存在している1958年から1990年までとして行った。その後、各核種のフォールアウトデータ(観測値)を取りまとめているHAMデータベースと計算値を比較して計算結果の精度を検証した。

また、検証は計算の終了年(1990年)に近い年を選ん

で行った。これは計算当初の1960年代から1970年代前半では観測精度に疑問がある点や、1958年から計算を始めているので、計算当初では再現性が低いことが予想されるからである。また、HAMデータベースのうち太平洋上で連続観測を行っていた同一研究者による観測値を抽出した。これは、観測値が観測測器や観測精度によって差があまり出てしまえば計算結果と比較する意味が薄れてしまうためである。

図-4は1986年におけるCs-137の濃度鉛直分布(東経146度・北緯30度)である。計算結果と観測値を比較すると、Cs-137の海洋中の濃度は、計算値の方がやや過大評価となっているが全体の再現性は高いことが分かる。

次に、図-5は1979年におけるSr-90の濃度鉛直分布(東経137度・北緯32度)である。Sr-90の濃度鉛直分布も観測値に比べやや過大評価となっている。しかし、観測値が水深2000m付近で増加に転じているが、計算結果もこのような傾向を再現している。

図-6は1985年におけるPu-239/240の濃度再現結果(西経177度・北緯44度)である。Pu-239/240の濃度再現結果は水深1500m付近まではCs-137、Sr-90と同様に観測値に比べやや過大評価となっている。しかしながら、水深2000m以深では再現性が低くなっている。Pu-239/240はCs-137、Sr-90に比べてスキャベンジングの影響を受けやすく濃度の極大値が表層ではなく中層付近にくる傾向がある。本計算では、このスキャベンジングの効果は上手く表現できていないものの、その後の急激な濃度現象を表現できていない。これは鉛直方向のメッシュの粗さや、元々Pu-239/240はCs-137、Sr-90に比べて非常に濃度が薄いので、計算で表現することが難しいこと、また、観測誤差が多く含まれていることも影響していると考えら

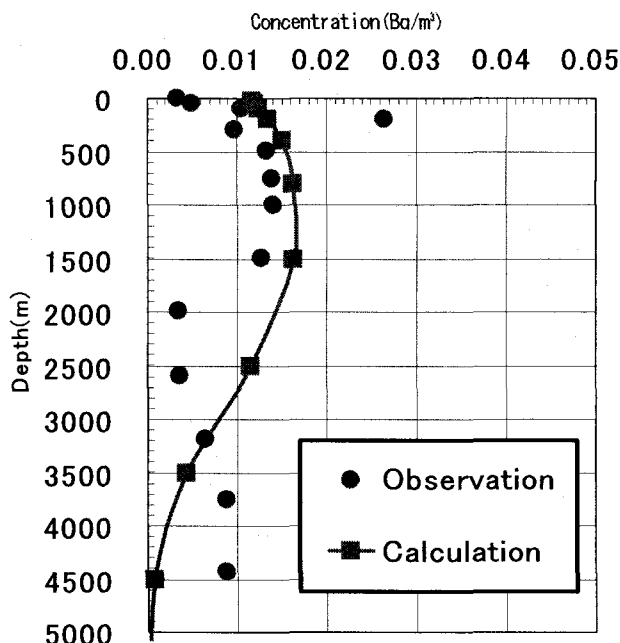


図-6 1985年におけるPu-239/240の濃度鉛直分布(西経177度・北緯44度)

れる。しかしながら、全体的には各海洋中核種の再現計算は良好であった。

8. おわりに

データ同化手法を用いた流れ場の検証を行った結果、表層においてはブイ観測値から得られた表面海流の平均場との相関は高く、特に東西成分に関しては相関係数 $r=0.74$ となり、検証対象の海域では黒潮・北赤道海流などの東西成分の大きい流れが大半を占めていることを考慮すれば、計算結果は良好であったといえる。

また、海洋中の核種 (Cs-137、Sr-90、Pu-239/240) の濃度計算による中深層の流れ場の検証結果は、各核種とも分布系は観測値と比べ、良好な結果であった。傾向としては海洋中の濃度が高いCs-137、Sr-90、Pu-239/240の順に計算結果が良かったことも確認された。Pu-239/240に関しては中層以深での再現性が多少悪かったが、これは鉛直方向のメッシュが粗かったこと、元々の濃度がPu-239/240に関しては低いことや、スキャベンジングの効果を受けやすいといった性質が影響しているものだと考えられる。今後はスキャベンジングの効果を支配する K_d 値を改良するなどの修正が必要かもしれない。

また、計算結果がどのケースもやや過大評価となったが、これはフォールアウト量を設定する際に全球積分値の50%が太平洋全域に降り、地上に降り注いだ分の放射性物質は、減少することなく再び大気中に巻き上げられ

海洋上に降り注ぐものと仮定したために、多少の過大評価となったものと考えられる。計算精度の向上にはこれらのフォールアウト量の設定をもう少し厳密に行う必要があるかもしれないが、今回の目標は流れ場の中深層での評価であったので、全体的には計算結果は良好で表層・中層以深での再現性も高いことが確認され、データ同化手法で求められた計算流動は再現性が高いといえるであろう。

参考文献

- 1) 長谷川一幸、和田明、高野憲治：NSCAT・SSM/I衛星観測データを用いた太平洋3次元流動場による二酸化炭素の海洋隔離の可能性に関する基礎的研究、水工学論文集、第45巻、pp.1063-1068、2001。
- 2) 道田豊：漂流ブイによる亜熱帯反流の観測、Report of hydrographic researches No.33, March 1997。
- 3) 青山道夫：<http://www.mri-jma.go.jp/dep/ge/ge.html>, Historical Artificial Radionuclides in the Pacific Ocean and Marginal Seas database, HAM database, Artificial Radionuclide Data-Bases., 1990
- 4) Sarmiento, J. L., and K.Bryan, :An Ocean Transport Model for the North Atlantic, *J. Geophys. Res.*, 87, pp. 394-408, 1982。
- 5) 和田明、名古屋靖一郎、高野泰隆、菱田昌孝、川鍋元二：データ同化手法を用いた太平洋の流動解析、水工学論文集、第41巻、pp.521-528、1997。
- 6) Nagaya, Y. and Nakamura, K.: Artificial Radionuclides in the Western Northwest Pacific (II), *J. Oceanographical Society of Japan. Phys*, 40, pp.416-424, 1984。
- 7) Hamilton, T.F and Gurgueniat:Cs-137(Sr-90) and Pu isotopes in the Pacific ocean, IPSN, pp.75-93, 1996。
- 8) Monetti, A. :Worldwide Deposition of Strontium-90 through 1990., USDOE Report EML-579, pp.56 1996。
- 9) Playford, K., G.H.J. Lewis and R.C. Carpenter: Radioactive fallout in air and rain, Results to the end of 1990., AEA Environment and Energy , Harwell Laboratory, AEA-EE-0362, 1992。
- 10) 津旨大輔、丸山康樹、鈴木浩、三枝利有:海洋大循環モデルを用いた海洋中核種濃度評価手法の開発、電力中央研究所報告書、U99007, 1996。
- 11) IAEA SS No.78:Definition and recommendations for the convention on the prevention of marine pollution by dumping of wastes and other matter, 1986。

(2001.10.1受付)