

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 海洋生態系将来予測のための海洋環境シミュレーション研究

2. 研究代表者名及び主たる研究参加者名（研究機関名・職名は研究参加期間終了時点）：

研究代表者

山中 康裕（北海道大学大学院地球環境科学研究院 教授）

主たる共同研究者

石田 明生（富士常葉大学社会環境学部 教授）

3. 研究実施概要

地球温暖化などに伴う気候変動による水産資源への影響評価のために、気候モデルから水産資源モデルまでを統合したモデリングを実施する必要がある（図 1）。気候変動に関しては、文部科学省「人・自然共生プロジェクト」（平成 14～18 年度）[本グループは不参加]によって、地球シミュレータを用いた世界に先駆けた高解像度気候モデルによって将来予測がなされた。また、環北太平洋 6ヶ国が参加した北太平洋海洋科学機関 PICES の元のモデリンググループによって、動植物プランクトンを中心とした NEMURO や小型浮魚類モデル NEMURO.FISH を開発し、気候変動に伴う水産資源変動を明らかにする試みがなされてきた（本グループも中心的メンバーとして参加）。それらは、それぞれのモデルの結果をバケツリレーの形で渡していき、結果を得るというものであり、用いられたモデルも、北太平洋に限定した低解像度モデル（水平解像度 100km）もしくは、特定の海域を表現したボックスモデルであった。なお、それらの試みは、世界的にも先駆的なものである。

そこで、当初の研究構想として、これらの統合を目指したモデル開発を目標とした。それらを統合した計算は膨大な計算機資源を必要とするために、個々のモデルを統合して計算したことと同じような結果が原理的には得られるように、「気候モデルを計算してその結果を利用して、海洋生態系モデルを計算する」といった [A] オフライン手法の開発が重要となる。オフライン手法は、海洋物理モデルと海洋生態系モデルに対する比較的柔軟な組み合わせを可能にする利点もある。本計画では、東大気候センター/環境研/JAMSTEC で開発された気候モデル（海洋部分は COCO）および JAMSTEC で開発された海洋物理モデル OFES と、NEMURO および新規開発するモデル（MEM）との、COCO-NEMURO、COCO-MEM、OFES-NEMURO、OFES-MEM といった自由な組み合わせを目指した。

統合モデルを開発するためには、[B] 個別モデルの改良も必要である。NEMURO は高次生態系への食物連鎖網を意識した海洋生態系モデルであり、気候変動との関係では、物質循環の改良（特に鉄循環過程の導入）が必要であった。また、NEMURO.FISH はボックスモデルとして空間分布が表現できていなかったため、空間方向に移動できるように回遊モデルの開発も必要であった。個別モデルの改良と並行して [C] 統合モデルの開発を実施した。統合モデルの開発は、モデルが良いパフォーマンスを示して（すなわち実証試験を経て）、初めて完了する。実証試験として、[D] 過去の気候変動に対する海洋生態系の応答および地球温暖化に伴う将来予測を実施した。

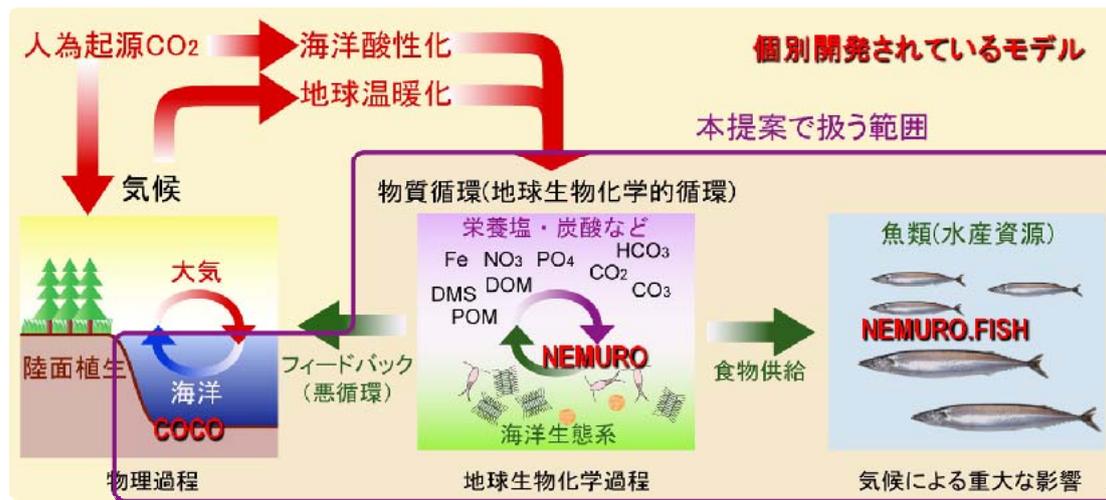


図 1：本研究課題を俯瞰する概念図。個別開発されているモデルを利用した、動植物プランクトンを表現した海洋生態系と栄養塩などの物質循環を中心とする統合モデリングを実施することにより、気候変動から水産資源変動までの予測を行えるモデル開発を実施した。

4. 事後評価結果

4-1. 研究の達成状況及び得られた研究成果（論文・口頭発表等の外部発表、特許の取得状況等を含む）

本研究は、地球温暖化等の環境変化による海洋生態系の予測、同じく地球温暖化に伴う植物連鎖、特にプランクトンの成長への影響、マイワシの回遊モデルの開発に関するものである。研究は、新たな手法の開発というより、主として、環境変化に対する海洋生物（特に小型、集団性をもつ小型生物）への影響をモデル化するものである。モデル化の実証も国際的な共同計画として実施し、実証を行うと共に新たな知見も得られ、当初目標を十分達成し、大きな成果が得られたと高く評価する。

本研究が他のプロジェクトと根本的に異なるのは、他のプロジェクトが自然の基本方程式に支配された現象を扱うシミュレーション科学であるのに対し、本研究が現象論あるいは仮説に基づいてその行動を記述するところにある。その意味で、今後の発展が期待されるシミュレーションである。

当初計画では想定されていなかった新たな展開として、①モデルの評価・実証のために、衛星による観測を実施したことが挙げられる。これによって、世界初となるプランクトングループごとの分布が得られた。②また、2009年から、海洋生態系モデル開発で世界をリードしている日英米仏4グループによる海洋生態系モデル相互比較研究計画（MAREMIP）を主体的に立ち上げ、IGBP コアプロジェクト AIMES の公式プロジェクトとして採用された。③小型浮魚類の回遊モデルを独立行政法人水産総合研究センターに提供することで、より実用的なモデルの開発が行われている。これらは、いずれも望ましい展開であったと高く評価する。

外部発表に関しては、論文発表が24件と、他の研究チームと比較して相対的に少ない。ただし、国際誌（23件）および国際学会での発表（59件）が多いことは評価でき、新しいシミュレーションであることを考慮すると妥当な発表であると判断してよかろう。一方、国内外で多くの招待講演を行っている。特に、IGBP コアプロジェクト GLOBEC から、2007年に Scientific Highlight に選ばれ、2009年に総会での基調講演を行っている。さらに、IGBP コアプロジェクト SOLAS からは、2011年に招待講演を依頼されている。この点は大いに評価したい。学術的な雑誌だけではなく、一般のメディアも含めて、非常に積極的に成果を発表しており好ましい。

研究の進め方については、モデル化グループと実験・実証グループとをよく統率し、人的資源の移動

も多く、若手研究者の育成に十分に貢献しており、また、国際的な共同研究もよく実施したと評価できる。特に国際対応（海洋生態系モデル相互比較プロジェクト MAREMIP）でチームワークの良さを披露し、また、本研究領域の他チームである羽角チームとのチームワークの良さは、研究代表者のリーダーシップの賜物と考えられる。本研究は、新しいシミュレーションの方向性を探るものであり、若手研究者を新たに取り込んで育成することに大きな意味があると考えられるが、そのための研究費の使用は、他チームよりもはるかに有効であったと判断できる。地球シミュレータの利用の年度ごとの見直し、東日本大震災対応など、CRESTの研究費執行の柔軟性を生かして、常に適切な判断を下しつつ研究を進めてきたことも評価できる。

4-2. 研究成果の科学技術や社会へのインパクト、戦略目標への貢献

手法自体には新奇性や先進性がそれほど認められないが、適切なモデル化により、実際の生態系の予測に成功している。海洋生物の温暖化による影響が我々人類に与える影響の大きさを考えると、本研究の成果の科学的インパクトはかなり大きい。また、人類にとって重要な課題であることから、この研究テーマは重要であり、社会的インパクトは今後より大きくなるものと判断できる。

原理や公理に基づく研究ではなく、現象論的な研究にならざるを得ないので、レベルについて議論するのは難しいが、本研究は国際的に注目され、一定の評価を得ているようであり、レベルは国際的にも高いと考えられる。

今後、研究成果のさらなる展開が期待できるかについては、生態系モデルに関する国際相互比較実験計画（MAREMIP）により、モデルの改良が一層進められるものと考えられる。また、小型浮魚類回遊のより実用的なモデルの開発（双方向結合）が、独立行政法人水産総合研究センターによって行われることになっているので、将来の水産資源管理に資する結果が得られるものと想定される。特に、福島原発事故による海洋生物汚染の研究にぜひ貢献していただきたい。

これまで魚を主要な蛋白源としてきた日本において、将来の食糧問題を考えるとき、日本近海の海流と回遊魚の生態に関するこのような研究が、今後より発展することが大いに望まれる。将来的には、本研究のモデル化に加えて、更に上のレベルの生物系にも適用できるようなモデル化を進めることにより、人間の食物レベルの生物系の生態予測への展開を期待したい。

戦略目標に向けての貢献、成果の社会的なインパクトの見通しとしては、海洋生物の生態系予測は、人類にとって海洋食物の将来に直結するわけであり、この成果の社会的なインパクトは非常に大きい。しかし、マルチスケール・マルチフィジックスシミュレーションという分野で見ると、手法自体には先進性・新奇性はあまりない。例えば、ニューラルネットワークと遺伝的アルゴリズムによる小型マイワシの回遊モデル開発という課題にしても、アルゴリズム自体は既知のものであり、適用モデルにのみ新しさがあるというものである。なお、繰り返すが、研究テーマおよびそのモデル化によって得られた成果自体は、社会的なインパクトが大いにあるものであり、今後にも期待できる。

4-3. 総合的評価

本研究には、マルチスケール・マルチフィジックスという領域での先進性や新奇性はあまり認められない。しかし、本研究内容、特にその実証面は我々の生活に直結しているため、社会的に与えるインパクトは大きく、その実証面において大きな成果が得られたということは高く評価できる。

また、海洋生態系モデル開発で世界をリードしている日英米仏4グループによる海洋生態系モデル相互比較研究計画（MAREMIP）を主体的に立ち上げ、IGBPコアプロジェクトAIMESの公式プロジェクトとして採用される等、国際的にも認められたことにより、研究者自身の研究を深めるモチベーションを大いに高めることができ、さらには研究者のレベルも上がったのではないかと感じられる。今後は、さらに高次の生態系で、海洋生態系・食物連鎖予測の研究を進めていくことを期待する。

基本微分方程式に支配されたシミュレーション科学ではなく、生態という普遍法則をもたない要素の集団運動に基づくシミュレーションを対象としているという意味で、今後のシミュレーション研究に新

しい風を吹かせる取り組みとして将来が楽しみである。

計算科学技術としての価値より、計算科学が海洋生物の研究にも応用できるという具体例を示したことに価値がある。計算科学が社会に役立つことを示すためにも、福島原発事故が海洋生物に及ぼす影響の評価に、ぜひ取り組んでいただきたい。