

称号及び氏名	博士（工学）中谷 直樹
学位授与の日付	平成 17 年 3 月 31 日
論文名	「海域環境シミュレーション手法に関する研究」

## 論文要旨

地球環境の保全を考える上で、海が存在は無視することができない。それは、地球表面の約 70%は海であるという単純な理由だけでなく、海が地球環境の維持に対して果している役割が非常に大きいからである。例えば、地球の安定した気温は生物の生存に必要な適度な温度に保たれているが、これは海の物理的な役割の一つである。すなわち海は非常に大きな熱エネルギーを蓄えることが可能であり、太陽から降り注ぐエネルギーを熱に変えて、気温の変動を最小限におさえてくれるコントローラになっている。このようなことは海が持っているポテンシャルのほんの一部と言って過言でない。

海洋を含む地球環境保全のためには、このような現象に対する理解を深めると共に、人間活動が海洋に及ぼす影響を予測・評価することが重要であり、そのためには、炭素や窒素などの基礎的な物質の循環をおこなっている生態系に関する研究が必要である。この研究のためには、研究の対象となる海域における観測・計測や生物採取など、フィールドを特定した上での調査が基本になるが、広い海洋において得られるデータは時間的にも空間的にも限られているので、得られたデータが示す意味を正しく理解するためには、どうしても実験的研究や現象を表現する数理モデルを使った数値計算が必要となる。それによって環境変化の予測が可能となり、環境を評価し、問題を計画的に考えることができるはずである。

しかしながら、現在までに提案されている生態系に関する数理モデルは、単純な構造の積み重ねで構築されたものであるために、これによって表現できる現象には限界があり、次のような問題点が生じている。すなわち、モデル構造の細分化の必要性によって伴う複雑化と、現象の因果関係の理解といった相反する要求に関する問題、陸域における人間活動が海域生態系に及ぼす影響の取り扱いに関する問題、さらに炭素や窒素など複数の物質循環を同時に考える際の物質保存に関する問題などである。本研究の動機と目的は、これらの問題について考察し、それらの解決方法を提案することである。

本論文は、以下の 6 章で構成されている。

第 1 章においては、自然環境問題に対する考え方を整理し、人間にとって課題とすべき

問題を述べて今後の方向性を示すとともに、海洋環境の重要性や、環境そのものに関する理解、環境計画・評価における数理モデルの必要性和重要性について説明し、本研究の背景、研究の動機、目的について述べる。

第2章では、まず海洋環境シミュレーションを行うにあたって必要となる海洋生態系の特色を整理し、生態系の構造と機能について考察する。次に、従来の生態系モデルに関する研究の変遷を調べて、これまでに発展してきた方向性を明らかにする。また、最近多くの研究者によって使われている生態系モデルの基礎となっている、海域における浮遊物質（植物プランクトン、動物プランクトン、デトリタス、窒素（栄養塩））の循環を表現する、いわゆる P-Z-D-N モデルを取り上げ、そのモデル構造と基礎式を具体的に述べて、生態系モデルの限界点やその他の問題点を指摘し、以下の各章で検討すべき項目を明らかにする。

第3章では、単純な構造を持つ理想化された生態系モデルを考え、コンパートメントに含まれる多数の生物種とそれらの因果関係を記述する生物群集モデルを構築し、これを組み合わせることによって種の多様性などを評価できる新しいモデルを提案する。このモデルは、群集全体を表すコンパートメントのパラメータが生態系に含まれる生物種の動態に応じて変化することになるので、優占種の交代などにより物質循環が変化し、時間と共に変化する環境を生物パラメータの変化として表現できる。言い換えると、時間によって変化する環境を、数理モデルのパラメータの変化で表現する生態系モデルとなるので、長期予測に適したモデルとなる。ここではその有用性を、P-Z-D-N モデルを使って示す。

第4章では、人間活動の海域環境への影響を、陸域から対象海域への負荷量として表現する手法について議論する。一般に生態系を表現する数理モデルは、微分方程式で表現されるので、これを使った予測計算には適切な初期条件や境界条件が必要である。したがって、海域における物質循環を表すモデルを使う場合には、陸域における人間活動が海域に及ぼす影響をこの方程式の境界条件として取り扱うことが可能となる。ここでは人間活動によって生じる陸域における負荷量をできるだけ正確に求める手法を検討して、陸域における人間活動を含めた海域環境シミュレーションの試みを行った。まず海域環境と因果関係の強い河川からの負荷流入に注目し、タンクモデルと呼ばれるモデルを基礎とする汚濁負荷流出モデルを構築して、その変動を推定する手法を提案する。次に、ここで提案するモデルを淡路島南東部に位置する由良湾の海域に適用し、陸域からの負荷量による、湾内生態系への影響を議論する。由良湾の場合には、湾口を通して大阪湾から流入する影響が大きく、陸域からの負荷は水質環境には大きな影響を及ぼさないことを明らかにする。このような取り扱いを通して、人間活動や陸域における環境変化の影響を考える環境シミュレーションの重要性を示す。

第5章においては、まず従来から提案されている生態系モデルで、炭素、窒素、リンなどの複数の物質循環を扱う場合には、循環の過程で生態系内の物質の総量に変化し、検討対象とすべき物質の総量が保存されていないという問題を明らかにする。次に、生物を表すコンパートメントにおいては、その組成比が保持されるべきであることを利用して、物

質保存の問題を解消できるモデルを構築し、炭素・窒素・リンなどの物質がそれぞれに保存される、いわゆる C-N-P 保存モデルを提案する。このモデルによる計算結果と、従来の P-Z-D-N モデルを用いた計算結果を比較検討することによってその有効性を示すと共に、“りんくう公園”に設置されている人工環礁内の閉鎖性干潟にこのモデルを適用して、内海の水質浄化機能の説明や、炭素・窒素・リンそれぞれの物質の環境容量算出や環境評価に有用であることを示す。

最後の第 6 章においては、本論文の全体的な総括を行い、得られた結論を要約する。

本研究では、従来から提案されてきた海域に関する生態系モデルを海域シミュレーションに使うために、そこに含まれている問題点を明らかにして、それらを解決する手法を提案し、その有効性を確かめた。ここで提案した手法は、計測値をモデルに取り込むデータ同化や、環境影響評価手法などに発展させることのできる可能性を持っており、海域環境のシミュレーション手法に関する十分な検討が行えたものと言える。

本論文の基礎となる発表論文

No.	論文題目	著者名	発表誌名	本論文との対応
1	大阪湾の環境シミュレーション - 由良湾の生態系モデル -	後藤かおり 中谷直樹 奥野武俊	関西造船協会誌, 第 230 号, pp.291-297 (1998)	2 章 3 章
2	大阪湾の環境シミュレーション (第 2 報) - 陸からの負荷を考慮する試み -	中谷直樹 山崎健太郎 奥野武俊	関西造船協会誌, 第 232 号, pp.19-24 (1999)	4 章
3	大阪湾の環境シミュレーション (第 3 報) - 汚濁負荷流出モデルによる陸域負荷の算出 -	中谷直樹 寺田芙美 奥野武俊	関西造船協会誌, 第 234 号, pp.293-301 (2000)	4 章
4	Environmental Simulation for Coastal Sea Area including Load from Land	N. Nakatani F. Terada T. Okuno	Proceedings of International Symposium, Techno-Ocean 2000, Vol.2, pp.479-482 (Kobe, Japan, 2000)	4 章
5	Estimation of Carbon and Nutrient Fixation effect of an Artificial Lagoon in Osaka Bay	K. Otsuka N. Nakatani	Proceedings of 20th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, OMAE01/OMS Paper No. 5036, Total Page 8 (Rio de Janeiro, Brazil, 2001)	5 章
6	生態系モデルを用いた環境修復技術の機能評価 - りんくう公園内海の例 -	中谷直樹 大塚耕司 奥野武俊	土木学会論文集, No.755/VII-30, pp.13 - 28 (2004)	5 章
7	沿岸域環境影響評価のための C-N-P 保存モデルの構築	中谷直樹	関西造船協会論文集, 第 243 号, 印刷中 (2005)	5 章

本論文に関するその他の発表

No.	論文題目	著者名	発表誌名	本論文との対応
1	Study on A New Ecosystem Model for Coastal Environments	N. Nakatani T. Okuno K. Otsuka	Proceedings of EcoSummit 2000, Elsevier, pp. 146-147 (Harifax, Canada, 2000)	3 章

## 審査結果の要旨

本論文は、海洋環境に対する人間活動の影響が最も大きいと思われる沿岸海域における環境を予測・評価するために生態系モデルを使う手法について、その限界や問題点を明らかにすると共に、それを解決できる新しい手法を提案して、その有効性を示したものであり、次のような成果を得ている。

(1) 海洋の生態系を現わす数理モデルが、海洋環境シュミレーションを行うために有用であることを具体的に示し、生態系の基礎的なモデルの構造を調べて、このモデルが有している限界点やその他の問題点を明らかにした。

(2) 生態系モデルに含まれる多数の生物種の因果関係を記述する生物群集モデルを考え、これを生態系モデルに組み込むことによって、種の多様性などを評価できる新しい手法を示し、コンパートメントの特性を表すパラメーターが生物種の動態に応じて変化するモデルを提案した。これによって、憂占種の交代によって物質循環が変化するなど、時間と共に変化する環境を生物パラメーターの変化として表現できることを確認した。

(3) 人間活動の海域環境に対する影響を、陸域からの負荷量として表現する手法を検討し、河川からの負荷流入をモデル化した汚濁負荷流出モデルを構築し、微分方程式で表現される生態系モデルの一つの境界条件とする手法を提案した。さらに、このモデルを淡路島南東部に位置する由良湾域に適用して、新しいモデルの有効性を示した。

(4) 従来から提案されている生態系モデルで複数の物質の循環を扱うと、生態系内の循環過程の中で物質の総量が増えるために、基本物質の総量が保存されないことを明らかにし、炭素・窒素・リンなどの基本物質がそれぞれに保存される。いわゆる C-N-P 保存モデルを提案した。さらに、このモデルを、りんくう公園に設置されている“内海”と呼ばれる閉鎖性干潟に適用して、内海の水質浄化機能の説明と共に、炭素・窒素・リンそれぞれの環境容量算出や環境評価に有用であることを示した。

以上の諸成果は、海域環境シュミレーション手法に生態系モデルを用いる新しい手法を提案し、その有用性を確認したものであり、この分野に関する研究の進展に大いに寄与している。また、自立して研究活動を行うに必要な能力と学識を有することを証したものである。

### 3. 審査委員会の所見

審査委員会は、本論文の審査ならびに学力確認試験の結果から、博士（工学）の学位を授与することを適当と認める。