

日本大学理工学部 学生員 飯田 泰司
日本大学理工学部 正会員 福田 敦

1. はじめに

環境問題への関心が高まる中、環境システムに関する研究も多なされるようになった。これらの研究は、特定の地域あるいは対象の環境を取り扱ったものから、地球全体でのグローバルな環境を取り扱うものまで多種にわたるが、その基本は環境を支える生態系の仕組みを研究することにある。

そこで本研究では、これらの生態系に関する研究をシステム工学的視点から整理し、生態系を形成するシステム構造がどのように捉えられるかを考察する。

2. 生態系の捉え方

生態系は、草食動物、肉食植物の捕食-被食関係、微生物による有機物分解等の多様な個体間の相互依存関係によって支えられている。捕食-被食関係を表現した有名なモデルとしてLotokaとVolterraによる捕食者-被食者モデルがあり、このモデルは被食者を x 、捕食者を y 、 a, b, c, d を正の定数として、式(1)で示される¹⁾。

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= xy(y) = x(a - cy) \\ \dot{y} &= yg(x) = y(dx - b) \end{aligned} \right\} \quad \text{式-1}$$

これらモデルはシステム内の2つの個体間の関係を表しているが、実際の生態系では多様な種が存在し、システムはより複雑であり、全体の構造を把握するのは大変困難である。

3. 研究方法

本研究では、生態系に関する研究の中でも、物質循環を明示的に取り扱ったモデルを関連文献から選定した。ここで対象とするモデルはシステム内だけで物質が循環しているモデルであり、フィードバックを含むものである。

次にこの中で同じ構造を持つモデルを一つにまとめた。この段階で対象として残ったモデルの中には局所的な物質循環を表したモデルから、大気の循環等のグローバルなモデルまであったが、最終的には既存研究の多い陸上、海洋、湖沼、森林の4地域の

モデルを対象とした。

選定したモデルを各々システム・ダイナミクス（以下SD）モデルとして作成する²⁾。本研究ではモデルの作成にSDのシミュレーションソフトであるSTELLAを用いる。これは最近新たに加わった因果ループの探索機能を使用して、因果ループを正確に把握することができるためである。

4. 海洋生態系の例

既存のモデルの例として「富栄養化に伴う海域生態系の変化」³⁾を例に分析方法を具体的に説明する。まず図-1のシステム概念図に基づいて、図-2に示すシミュレーションモデルを作成する。モデルでは、植物プランクトン、動物プランクトン、浮魚類、有機物、酸素、栄養塩を取り上げストックとしている。一般には構築の前に、図-3で示す因果ループ図の作成を行いシステムを把握することになっているが、このモデルのように簡単な場合でも、すべての因果関係を正確に把握することは難しい。そこで図-4に示すSTELLAの因果ループ探索機能を使用して、ループ数を計測した。この機能を使うと、全てのループを探索でき、又、各ループが成長構造を持つか、収束するものであるか簡単に判別することができる。因果ループ探索機能の表示結果を図-4に示す。この機能により、すべての要素の因果関係を明確に把握できる。

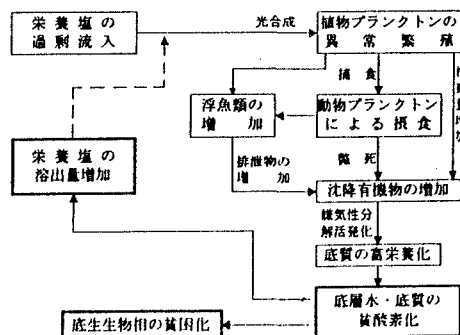


図-1 富栄養化に伴う海域生態系の変化

キーワード 自己再生能力, システム・ダイナミックス

連絡先 〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1 TEL&FAX：0474-69-5355

5. 生態系のシステム構造の整理

同様の方法で対象とした全てのモデルを整理した結果を表-1に示す。この結果からは、以下の3つの特徴が挙げられる。第一に本研究で整理した生態系モデルは、表-1に示すように成長のフィードバック・ループがシステムの中心となり、システム内の各要素を常に変化させる働きを持つ。第二に成長のフィードバック・ループに対し、食物連鎖及び、富栄養化による酸素欠乏等の収束のフィードバックが常に成長しようとするシステムの中心的な機能を抑制し、システムが安定状態を保つことができる。第三に中心のフィードバック・ループ内は、植物-動物及び、植物プランクトン-動物プランクトン等の捕食-被食関係から形成されている。どのループがシステムの中心となるかを明確に判定する方法はないが、STELLAの感度分析機能を使って、効率的にシミュレーションを行い支配的であるかどうかを判定した。

6. おわりに

本研究では、既存の生態系モデルを収集し、その構造、性質を整理した。今後、システム全体の安定性と、環境状態が不可逆な状態になる臨界点を見出す方法を検討する必要がある。

参考文献

- 1) ピエール N. V. チュー：経済分析とダイナミカルシステム, pp.395-398, 1997.
- 2) マイケル B. グッドマン：システムダイナミクス・ノート, マグロウヒル好学社, 1981.
- 3) 長尾 義三【監修】：海域環境創造辞典, 沿岸域環境研究所, pp.72-83, 1994.

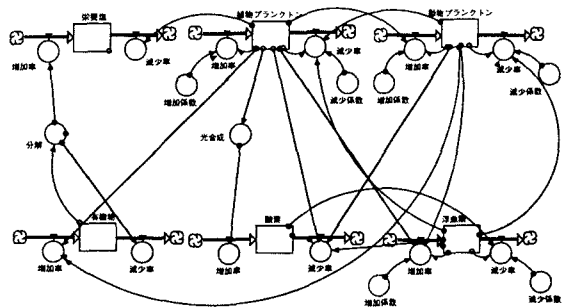


図-2 シミュレーションモデル

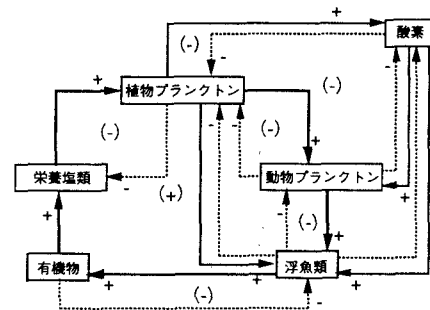


図-3 因果ループ図

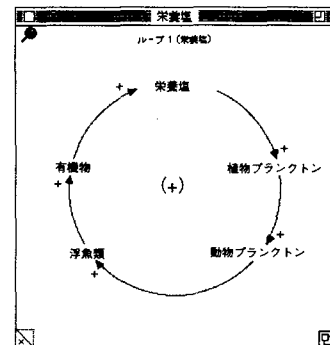


図-4 STELLAのループ探索機能

表-1 生態系モデルの整理

分野	モデルテーマ	ループ数		中心のループ
		正	負	カッコ内はフィードバックループの極性を示す
陸上生態系	自然界での物質循環 (橋本 道夫編：地球規模の健康問題, p.89.)	5	7	植物-動物-人間-遺糞・排泄物-微生物-栄養塩-植物 (正)
	陸上生態系における炭素の循環の模式図 (岡部 昭二：生活と環境, p.8.)	5	3	CO ₂ -植物-光合成-動物-遺糞・排泄物-微生物-CO ₂ (正)
海洋生態系	富栄養化に伴う海洋生態系の変化 (酸素循環) (長尾 義三監修：海域環境創造辞典, p.72.)	14	15	栄養塩-植物プランクトン-動物プランクトン-浮遊動物-有機物-分解 (正)
	海洋生態系と物質循環 (大槻 忠：いろいろな環境影響評価手法, p.68.)	4	4	栄養塩-植物プランクトン-動物プランクトン-魚類-堆積有機物-栄養塩 (正)
湖生生態系	エリー湖生態系のコンパートメント・モデル (R. ヒューケット：地域システム分析, p.158.)	5	4	植物プランクトン-動物プランクトン-有機物-無機物-植物プランクトン (正)
	諏訪湖生態系モデルの構造と内容 (環境情報科学センター：自然環境アセスメント指針.)	2	2	植物プランクトン-動物プランクトン-デトリタス-溶解有機物-溶解無機物-植物プランクトン (正)
森林生態系	森林生態系における炭素循環のモデル (堤 利夫編：森林生態学, p.126.)	2	2	森林-落葉・枯死-土壌動物・微生物-微生物分解-無機物-森林の成長-森林 (正)