

# 7. 生態系モデリング

植山 雅仁

## 7. 1. モデルの種類

モデルとは、対象とする現象や素過程（プロセス）を数式等で模したものである。

### ■コンセプトモデル (Conceptual Model)

対象とする現象を理解するために、因果関係や影響関係を模式的に示したモデル

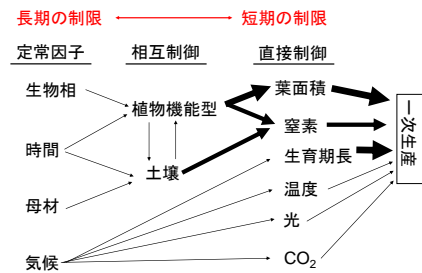


図 1. 生態系の一次生産と環境要因との関係を整理したコンセプトモデル (Chapin et al., 2002)

### ■経験モデル (回帰モデル、統計モデル; Empirical Model)

統計等を用いて対象とする現象と関連する要因との関係を経験的に記述したモデル

- 単回帰モデル、重回帰モデル、構造方程式モデリング
- ニューラルネットワーク、ランダムフォレスト
- サポートベクターマシン

経験式を作った条件と同じ場合、経験モデルは対象とする現象をよく当てる傾向にある。一方、条件が異なる場合は関係性が成り立たないことが多く、予測には適さない。経験モデルは、外挿となる際に精度が著しく悪くなる場合がある。

経験モデルは、調整パラメタが少ないためシンプルで使用しやすいため、現象の把握に使用しやすい。経験モデルを使って予測を行う場合は、モデルを汎化する工夫が必要である。例えば、モデル構築に利用するデータとテストに使用するデータを分けたり、パラメタ推定の際にグリッドサーチを行うことで精度検証や汎化性能を向上させることができる。

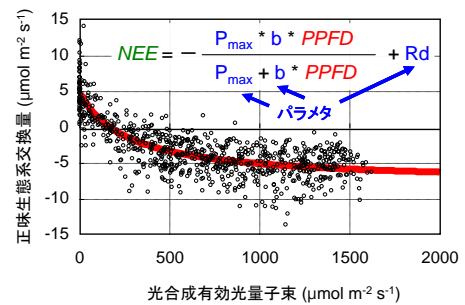


図 2. 正味生態系交換量と光合成有効量子束との関係を記述した経験モデル

### ■プロセスモデル (Process-based Model)

対象とする現象に関連する素過程を物理、化学、生物の法則にならって数式で記述した数値モデル  
 生態系モデル、大気循環モデル、気候モデル、流体モデル

用いる物理、化学、生物の理論式が普遍的なものであれば、さまざまな条件における事象を正確に予測することができる。簡略化のためのパラメタが多数存在し、適切なパラメタの組み合わせを決定することは容易でない。そのため、プロセスモデルを開発・使用するにあたっては現象に対する深い理解が必要である。

### 陸域生態系モデル (Terrestrial Ecosystem Model, Terrestrial Biosphere Model)

生態系モデルとは、生態系における物質循環などを評価・予測するためのプロセスモデルである。一般に、いくつかのサブモデルが結合されている。

個葉の CO<sub>2</sub> 交換に必要なサブモデル :

- 光合成モデル、気孔コンダクタンスモデル、葉面境界層モデル
- 葉面熱収支モデル、呼吸モデル

群落の CO<sub>2</sub> 交換に必要なサブモデル :

- 個葉の CO<sub>2</sub> 交換に必要なモデル
- 放射伝達モデル、大気乱流モデル (拡散モデル)、土壌微生物モデル
- 分配モデル、植物季節モデル、土壌水収支モデル

全球・大陸スケールの CO<sub>2</sub> 交換に必要なモデル

- 群落の CO<sub>2</sub> 交換に必要なモデル
- 植物分布モデル、植物遷移モデル、生物地球化学循環モデル (窒素循環モデルなど)
- 大気・海洋大循環モデル (炭素循環フィードバック等を動的に評価する場合)

### パラメタ (パラメータ)

統計モデルであれば、経験定数 (単回帰モデルであれば、 $Y=ax + b$  の  $a$  や  $b$  値) を表す。プロセスモデルであれば、対象とする現象を表現する際に定数として扱うことができるプロセスや媒介変数を表す。

### 7. 2. モデルの当てはまり

経験モデル、プロセスモデルのいずれにおいても、使用する前にもどの程度の精度や不確実性を有しているかを評価しておく必要がある。モデルの精度や不確実性を評価する指標はさまざまある。

- 回帰係数の傾き、回帰係数の切片
- 相関係数、決定係数、有意水準
- 二乗平均平方根誤差 (Root Mean Square Error; RMSE)
- $\chi^2$  (カイ二乗)、赤池情報量規準 (AIC)

相関係数、標準偏差、回帰係数を 1 つの図で端的に示すテイラーダイアグラムなどでモデルの当てはまりを評価することがある。

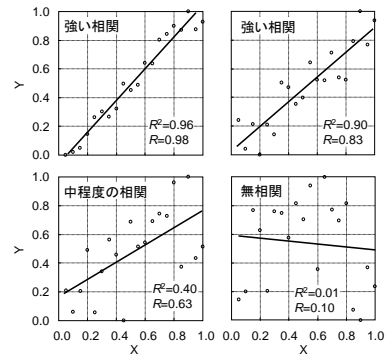


図 3. データの分布と相関係数に関する散布図

### 7. 3. モデルの利用

#### ■感度解析

選択するパラメタ値によってモデルの出力がどの程度、変化するかを評価するための解析  
とり得る範囲でパラメタの値を変化させて、出力がどのように変化するかを調べる。

#### ■アトリビューション解析 (入力値に関する感度解析)

計算された結果が、どの入力因子の影響を強く受けているかを評価するための解析

例えば、生態系モデルの入力である気温、日射量、湿度のうち、1つのみを実際のデータとして入力とし、残りの2つを一定値として入力することにより、どの入力データが出力結果に大きな影響を及ぼしているかを明らかにすることができる(図4)。

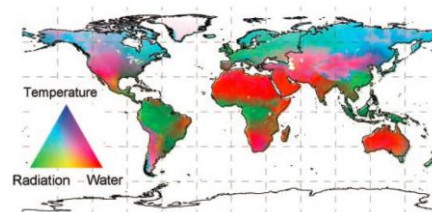


図4. 群落光合成に影響を与える環境要因  
(Nemani et al., 2003)

#### ■モデル相互比較 (Model Inter-comparison; MIP)

ある現象を予測するモデルが複数ある場合、それらを比較することで各モデルにどのような特徴があり、モデル間にどの程度の優劣があるかを明らかにすることができる。

#### ■アンサンブル予測

モデル間の結果に大きな差がある場合、或いは同一モデルであっても設定条件で結果が大きく変化する場合、いくつかのモデルやいくつかの実行環境での結果を平均することで予測精度を向上させる手法

#### ■最適化

観測等でモデルの出力に該当する変量が得られている場合、その結果をうまく再現するようにモデルのパラメタを客観的に調整すること。実データとモデルからパラメタを類推することができる。

#### ■逆解析

観測等でモデルの出力に該当する変量が得られている場合、モデルを使って入力データに該当する諸変量と逆計算する手法

### 引用・参考文献

Chapin III, F. S., Matson, P. A., and Mooney, H. A. 2002: Principles of terrestrial ecosystem ecology, Springer-Verlag Press, New York, 436 pp.

Nemani, R., Keeling, C. D., Hashimoto, H., Jolly, W. M., Piper, S. C., Tucker, C. J., Myneni, R. B., and Running S. W., 2002: Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 2982 to 1999. Science, 300, 1560-1563.