

## 高次栄養段階モデリング： Ecopathを用いた取り組みと最新情報

### Ecopath modeling based on fishery resource survey data: A case of study on a demersal ecosystem

米崎 史郎・村瀬 弘人 (水研セ 国際水研)  
Shiroh YONEZAKI and Hiroto MURASE (NRIFSF, FRA)



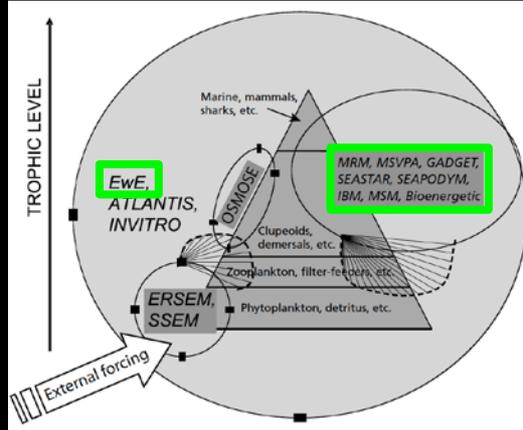
## Contents

- 高次栄養段階を対象とするモデル群
  - Marine ecosystem models for higher trophic organisms
  
- Ecopath with Ecosimについて
  - Explanation of Ecopath with Ecosim
  
- 東北沖底魚生態系 Ecopathモデルの構築
  - Structure of demersal ecosystem off the Pacific coast of northeastern Japan using Ecopath approach
  
- EwEプログラム開発の現状：the 30<sup>th</sup> Conference報告
  - Development of EwE: the 30<sup>th</sup> Conference

## ■ 高次栄養段階を対象とするモデル群

Marine ecosystem models for higher trophic organisms

- ✓ 漁業における生態系アプローチ (EAF: Ecosystem Approach to Fisheries)
- ✓ 生態系に基づく漁業管理 (EBFM: Ecosystem-Based Fisheries Management)



Plagányi (2007)

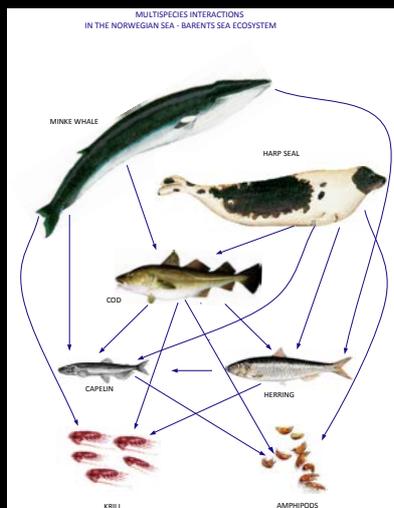
共同利用研究会【海洋生態モデリングの最前線：成果、連携、次世代への展開】@東大 大気海洋研

3

## ■ 高次栄養段階を対象とするモデル群

Marine ecosystem models for higher trophic organisms

- ❖ GADGET (Globally applicable Area Disaggregated General Ecosystem Toolbox)



### ■ 統合モデルStock Synthesis (資源評価モデル) を複数種へ拡張したモデル

- MRM型であるが、年齢・体長データ、成長のプロセスなど、要求されるパラメータが多い...

共同利用研究会【海洋生態モデリングの最前線：成果、連携、次世代への展開】@東大 大気海洋研

4

## ■ 高次栄養段階を対象とするモデル群

Marine ecosystem models for higher trophic organisms

### ❖ MSVPA (Multi-Species Virtual Population Analysis)

$$N_{a,y} = N_{a+1, y+1} e^M + C_{a,y} e^{M/2}$$

$N_{a,y}$  : y年におけるa歳魚の資源尾数

$M$  : 自然死亡係数 → M1 (残留死亡率) と M2 (年齢別死亡率) に分離

$C_{a,y}$  : y年におけるa歳魚の漁獲尾数

- 年齢別の食性データ (捕食者に食べられる情報) が必要…
- 捕食者の個体群動態は考慮されていない…

## ■ Ecopath with Ecosimについて

Explanation of Ecopath with Ecosim



### ■ 我々が海洋生態系モデルを使う目的とは何か？

- 生態系の構造や特徴を理解する
- 生態系の変動機構や変動要因を説明する
- 将来を予測する (例, 温暖化の影響予測)
- 漁業などのインパクトやリスクの評価
- 管理方策の評価
- 合意形成のツールとしての利用

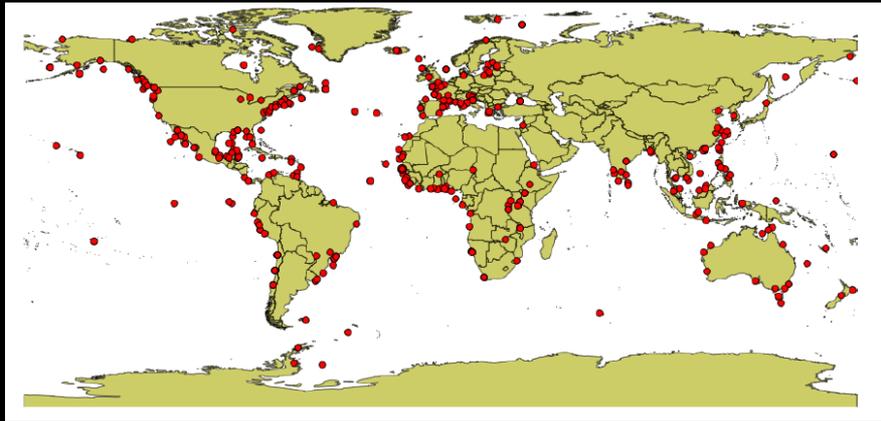
- ✓ ネットワーク, end-to-end型であること
- ✓ 漁業の影響を組み入れられること
- ✓ モデル出力が明解であること
- ✓ 要求されるデータが手持ちにあること
- ✓ ユーザフレンドリーであること

## ■ Ecopath with Ecosimについて

Explanation of Ecopath with Ecosim



- ✓ 生態系を考慮した漁業管理のためのモデリングツールとして開発



共同利用研究会【海洋生態系モデリングの最前線：成果、連携、次世代への展開】@東大 大気海洋研

7

## ■ Ecopath with Ecosimについて

Explanation of Ecopath with Ecosim



- 生態系を構成する生物群の生物量 (B) を通貨とし、各構成種の餌組成 (DC)、生産量 (P/B)、消費量 (Q/B) を考慮して、系全体の生物量収支をバランスさせる。
- Ecopathの基本方程式：餌生物Aと捕食者B
 
$$\text{生産量 } A = \sum \text{消費量 } B \times \text{餌組成 } BA - \text{漁獲量 } A - \text{移出入量 } A - \text{生物蓄積量 } A - (\text{捕食} \cdot \text{漁獲以外の自然死亡量 } A)$$
- 構成種の連立方程式群を解くことによって未知のパラメータを推定する
- ❖ Ecosimは、このEcopathのバランスを崩すことによって生じる経時的変化をシミュレーションするモジュール

共同利用研究会【海洋生態系モデリングの最前線：成果、連携、次世代への展開】@東大 大気海洋研

8

## ■ Ecopath with Ecosimについて Explanation of Ecopath with Ecosim

我が国における漁業・現存量調査データ，資源評価パラメータと，EwEモデルは，親和性が高い!!



加入量・現存量・モニタリング調査

- 生態系を構成する生物群の生物量 (B) を通貨とし，各構成種の餌組成 (DC)，生産量 (P/B)，消費量 (Q/B) を考慮して，系全体の生物量収支をバランスさせる。

- Ecopathの基本方程式：食餌者と捕食者B

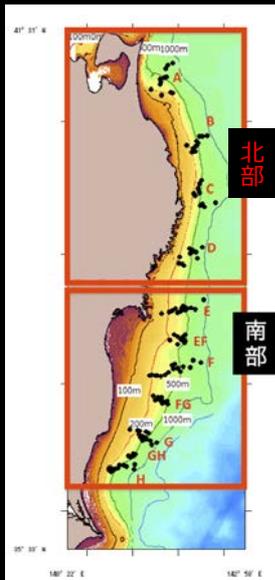
$$\text{生産量 } A = \sum \text{消費量 } B + \text{漁獲量 } A - \text{移出入量 } A$$

- 生産量 (P/B) = 全死亡係数 (Z = F + M)
- 消費量 (Q/B)：極限体重，尾鰭の形状，生息水温などを係数とした経験則式を適用

- Ecocosimは，このEwEモデルをシミュレーションするモジュール

## ■ 東北沖底魚生態系 Ecopathモデルの構築-北部モデル

Structure of demersal ecosystem off the Pacific coast of northeastern Japan using Ecopath approach



- 東北沖の底魚類現存量調査データ：

- ✓ 春季 (2002, 03)，秋季 (1997~2009)，海底水深150~1000 m
- ✓ 生物量 (B)，食性 (DC)

- 沖合底曳網漁獲量データ：

- ✓ 2008：2艘曳網，かけまわし，船曳網（オキアミ類）

### ■ 北部モデル構築の目的

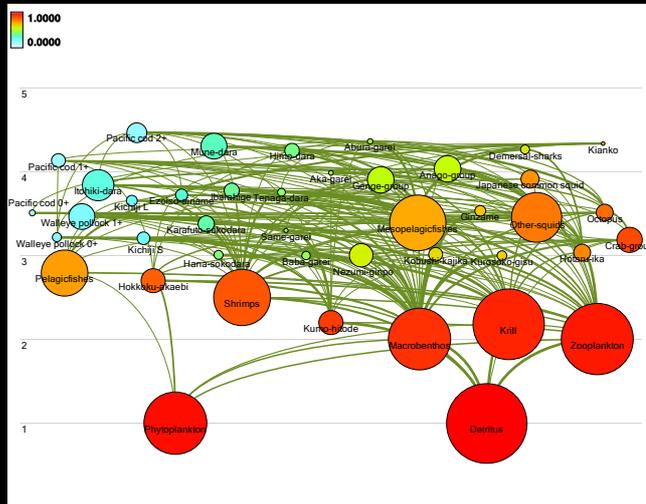
- 生態系の構造や特徴を理解する!!
- 生態系の変動機構や変動要因を説明する
- 将来を予測する (例，温暖化の影響予測)
- インパクトやリスクの評価
- 管理方策の評価
- 合意形成のツールとしての利用

■ 東北沖底魚生態系 Ecopathモデルの構築-北部モデル

Structure of demersal ecosystem off the Pacific coast of northeastern Japan using Ecopath approach

構成種の栄養段階とバイオマスの関係

- 栄養段階の上位は、マダラ2+, キアンコウ, アブラガレイ, ムネダラ
- しかしながら、底魚類といっても、栄養段階の範囲は広い (ex. ハナコダラ, ハバガレイは3程度)



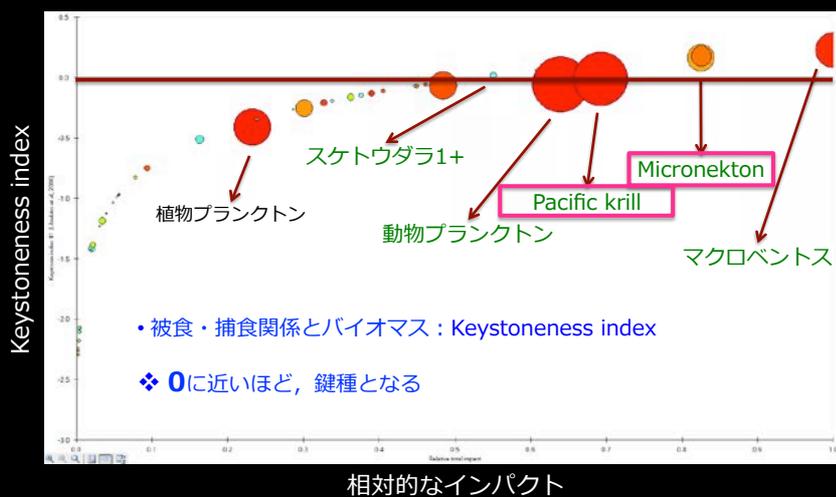
共同利用研究会【海洋生態系モデリングの最前線：成果、連携、次世代への展開】@東大 大気海洋研

11

■ 東北沖底魚生態系 Ecopathモデルの構築-北部モデル

Structure of demersal ecosystem off the Pacific coast of northeastern Japan using Ecopath approach

Keystone species



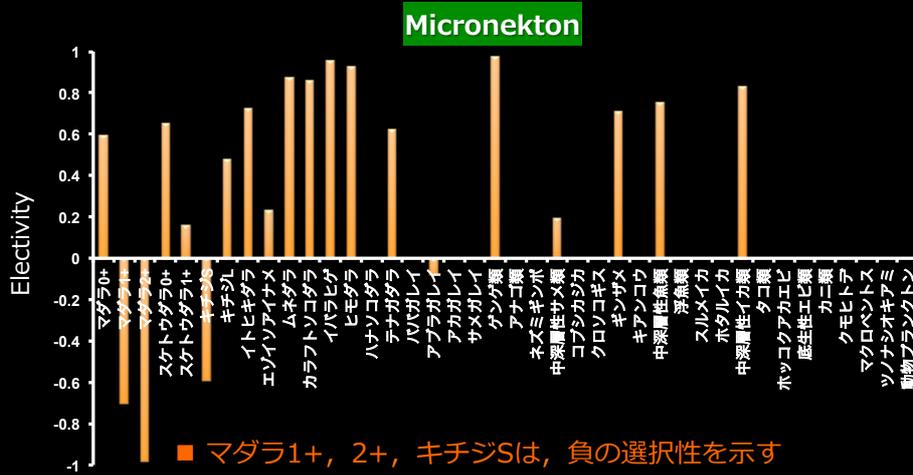
共同利用研究会【海洋生態系モデリングの最前線：成果、連携、次世代への展開】@東大 大気海洋研

12

■ 東北沖底魚生態系 Ecopathモデルの構築-北部モデル

Structure of demersal ecosystem off the Pacific coast of northeastern Japan using Ecopath approach

Electivity of prey species



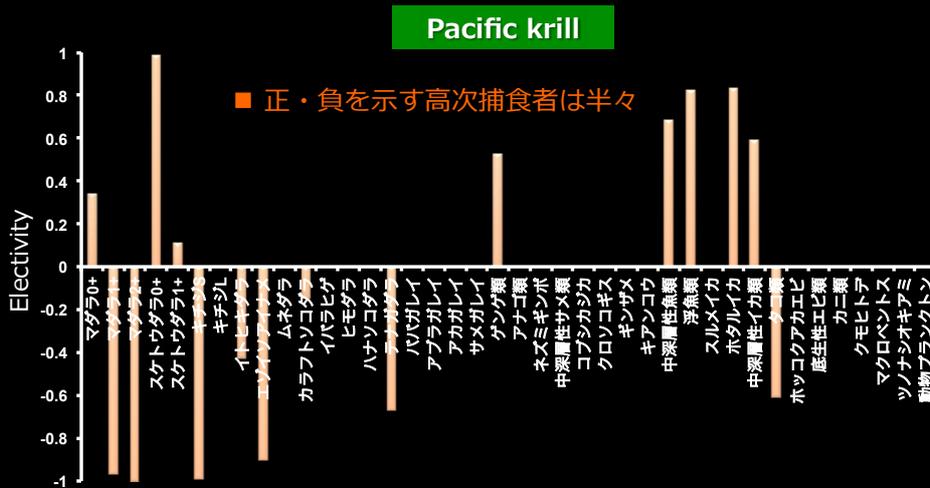
共同利用研究会【海洋生態系モデリングの最前線：成果、連携、次世代への展開】@東大 大気海洋研

13

■ 東北沖底魚生態系 Ecopathモデルの構築-北部モデル

Structure of demersal ecosystem off the Pacific coast of northeastern Japan using Ecopath approach

Electivity of prey species

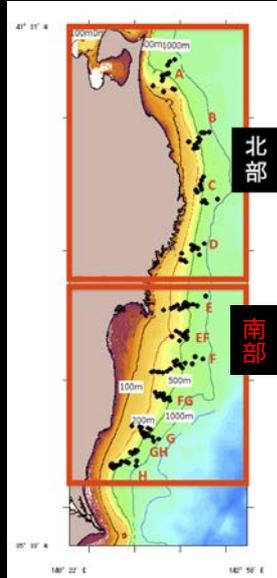


共同利用研究会【海洋生態系モデリングの最前線：成果、連携、次世代への展開】@東大 大気海洋研

14

■ 東北沖底魚生態系 Ecopathモデルの構築-南部モデル

Structure of demersal ecosystem off the Pacific coast of northeastern Japan using Ecopath approach



● 東北沖の底魚類現存量調査データ：

- ✓ 秋季（2008～2012），海底水深150～1000 m
- ✓ 生物量（B），食性（DC）

● 沖合底曳網漁獲量データ：

- ✓ 2008，2艘曳網，かけまわし，船曳網（オキアミ類）

■ 南部モデル構築の目的

- 生態系の構造や特徴を理解する
- 生態系の変動機構や変動要因を説明する
- 将来を予測する（例，温暖化の影響予測）
- インパクトやリスクの評価（震災の影響評価）！！
- 管理方策の評価
- 合意形成のツールとしての利用

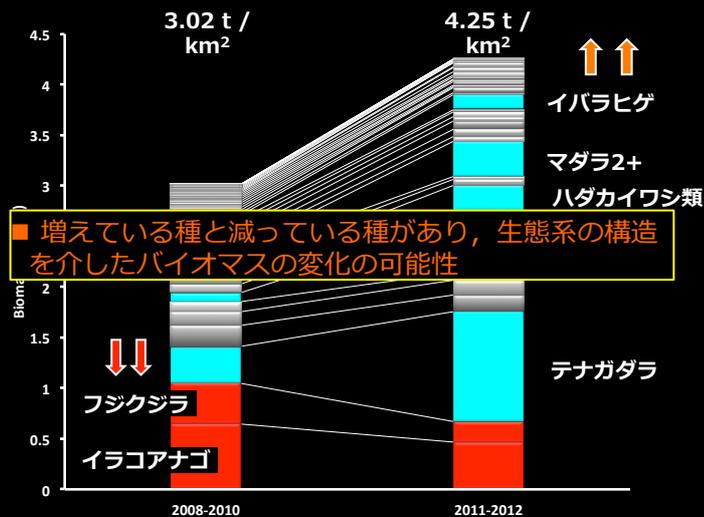
共同利用研究会【海洋生態系モデリングの最前線：成果，連携，次世代への展開】@東大 大気海洋研

15

■ 東北沖底魚生態系 Ecopathモデルの構築-南部モデル

Structure of demersal ecosystem off the Pacific coast of northeastern Japan using Ecopath approach

底魚類のバイオマスの変化



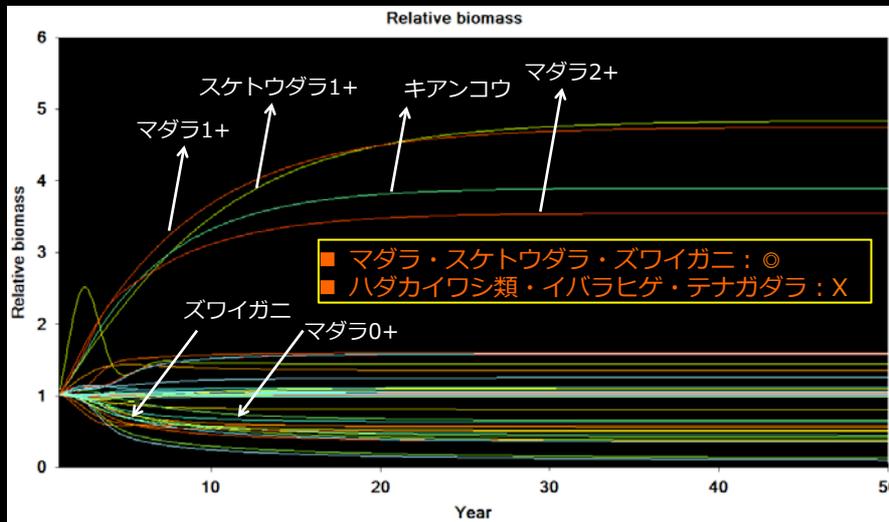
共同利用研究会【海洋生態系モデリングの最前線：成果，連携，次世代への展開】@東大 大気海洋研

16

■ 東北沖底魚生態系 Ecopathモデルの構築-南部モデル

Structure of demersal ecosystem off the Pacific coast of northeastern Japan using Ecopath approach

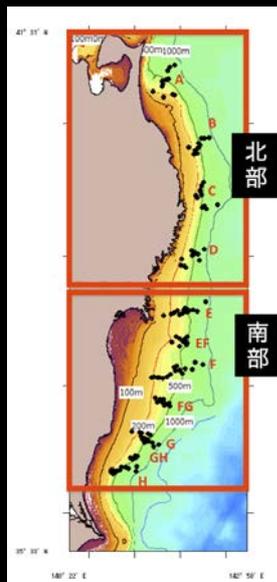
Ecosimシミュレーション (震災影響 = 漁獲量ゼロ)



共同利用研究会【海洋生態系モデリングの最前線：成果、連携、次世代への展開】@東大 大気海洋研

■ 東北沖底魚生態系 Ecopathモデルの構築-まとめ

Structure of demersal ecosystem off the Pacific coast of northeastern Japan using Ecopath approach



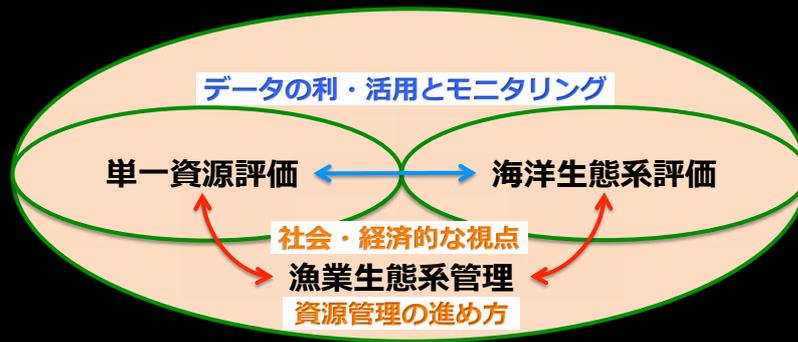
- 北部モデル (水産海洋研究に執筆中) :
    - ✓ 東北沖の底魚生態系の構造を可視化
    - ✓ 漁業のインパクト評価をする準備が出来つつある
    - ✓ 構成種の生産量・消費量の再点検
    - ✓ 動物・植物プランクトンなどの低次生産パラメータのチェック
  - 南部モデル (モデリング中) :
    - ✓ 震災による生態系の変化を再現
    - ✓ 水研センターで行われている海洋モニタリング調査データを活用...
    - ✓ 生態系...
- Ecopathアプローチを実行することにより、マクロな視点で漁業生態系を把握できる

共同利用研究会【海洋生態系モデリングの最前線：成果、連携、次世代への展開】@東大 大気海洋研

■ 東北沖底魚生態系 Ecopathモデルの構築-まとめ  
 Structure of demersal ecosystem off the Pacific coast of northeastern Japan using Ecopath approach

持続的な水産資源の利用を実現させるには

■ 実質的な漁業資源・海洋生態系管理の方向性



共同利用研究会【海洋生態系モデリングの最前線：成果、連携、次世代への展開】@東大 大気海洋研

19

■ EwEプログラム開発の現状：the 30th Conference報告  
 Development of EwE: the 30th Conference



- 25周年に続き2回目の開催
- 欧州、北米、南米を中心に約100名の参加者
- \* 日本からの参加(計3名):

水産総合研究センター	中央水産研究所	1名
	国際水産研究所	1名
京都大学農学部修士課程		1名

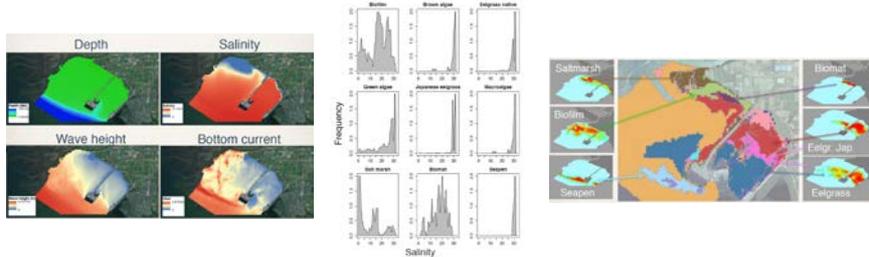
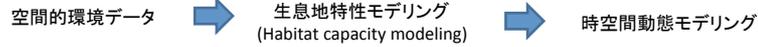
共同利用研究会【海洋生態系モデリングの最前線：成果、連携、次世代への展開】@東大 大気海洋研

20

■ EwEプログラム開発の現状 : the 30th Conference報告  
Development of EwE: the 30th Conference



Ecospaceによる時空間動態モデリング



- 生息地特性モデリング機能が追加されハビタットモデルがEwEに組み込まれた
- ハビタットモデルの機能としては初歩的(Habitat suitability index、HSIに近い)
- MaxEntなどの外部のハビタットモデルの結果を取り入れることも理論的には可能だがプラグインの開発が必要

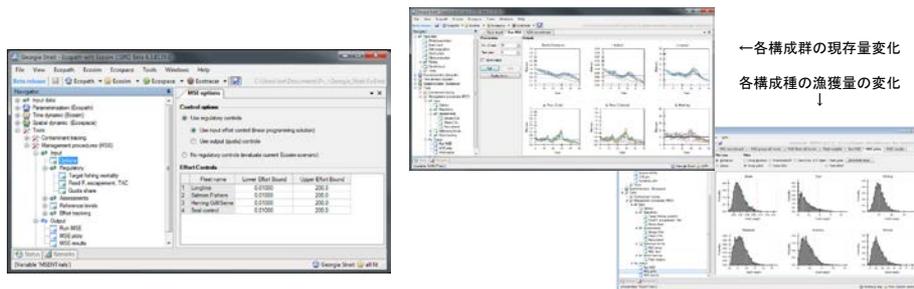
共同利用研究会【海洋生態系モデリングの最前線：成果、連携、次世代への展開】@東大 大気海洋研

21

■ EwEプログラム開発の現状 : the 30th Conference報告  
Development of EwE: the 30th Conference



管理戦略評価(MSE)プラグイン



- 以下のシミュレーションが可能
  - 自分で設定した魚種別漁法別の漁獲圧
  - 取り残し・漁獲圧・漁獲量一定方策(各生物種の数値を設定)
  - 資源水準で漁獲圧を変える方策
- 実際のMSEに使えるレベルまでには到達しておらずさらなる改善が必要

共同利用研究会【海洋生態系モデリングの最前線：成果、連携、次世代への展開】@東大 大気海洋研

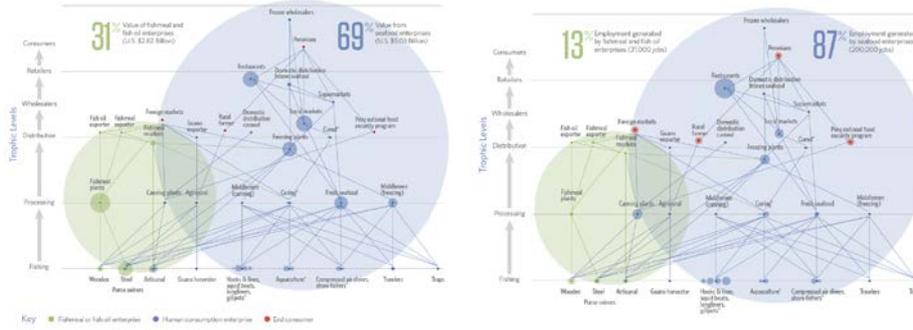
22

■ EwEプログラム開発の現状 : the 30th Conference報告  
Development of EwE: the 30th Conference



価値連鎖(Value chain)プラグイン

Christensen et al, 2014 Marine Policy



収入

就業者数

- 漁業に関する収入、就業者数などの経済分析用プラグイン
- ペルーの漁業への適用事例有 : Sea food >> Fish meal

共同利用研究会【海洋生態系モデリングの最前線：成果、連携、次世代への展開】@東大 大気海洋研

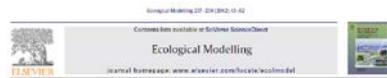
23

■ EwEプログラム開発の現状 : the 30th Conference報告  
Development of EwE: the 30th Conference



他の生態系モデルとのカップリング

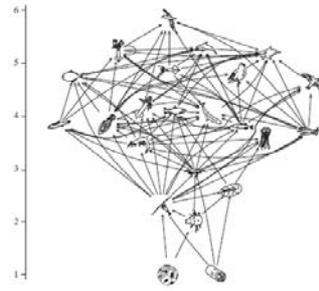
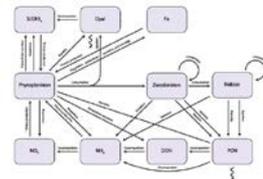
Kearney et al, 2012 Ecological Modelling



Coupling planktonic ecosystem and fisheries food web models for a pelagic ecosystem: Description and validation for the subarctic Pacific

Kelly A. Kearney<sup>1,\*</sup>, Charles Stock<sup>2</sup>, Kerim Aydin<sup>3</sup>, Jorge L. Sarmiento<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Oceanography, University of Washington, Seattle, WA, USA; <sup>2</sup>NOAA Fisheries, Seattle, WA, USA; <sup>3</sup>NOAA Fisheries, Seattle, WA, USA



EcopathとNEMUROのカップリング事例

- 現時点では事例は少ない(今回のカンファレンスでは1発表のみ)
- 開発者サイドは今後の進展に高い関心
- 水研でも同様の研究を展開できる素地はある

共同利用研究会【海洋生態系モデリングの最前線：成果、連携、次世代への展開】@東大 大気海洋研

24

## ■ EwEプログラム開発の現状 : the 30th Conference報告 Development of EwE: the 30th Conference



### 他プログラミング言語への移植

FORTRANへの移植

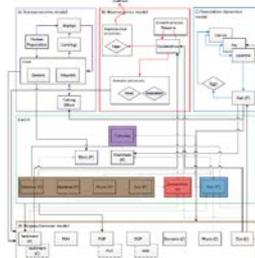
Rへの移植



**EwE-F 1.0: an implementation of Ecopath with Ecosim in Fortran 95/2003 for coupling**

E. Akoglu<sup>1</sup>, S. Libralato<sup>2</sup>, B. Balogh<sup>3</sup>, T. Oguz<sup>4</sup>, and C. Solidoro<sup>5</sup>

イタリア・トルコの研究チーム



共同利用研究会【海洋生態系モデリングの最前線：成果、連携、次世代への展開】@東大 大気海洋研

WHAT NEXT? POSTER PRESENTATIONS

IMPROVING THE EBFM TOOLBOX WITH AN ALTERNATIVE OPEN SOURCE MASS BALANCE MODEL<sup>1</sup>

Lacey SM

National Marine Fisheries Service, Northeast Fisheries Science Center  
246 Water Street, Woods Hole, MA 02542, Email: laacey@noaa.gov

Avolin KY

National Marine Fisheries Service, Alaska Fisheries Science Center  
5000 Seward Point Hwy, N.E. Seattle, WA 98148, Email: Eavolin.Avolin@NOAA.gov

Gardias SK

National Marine Fisheries Service, Northeast Fisheries Science Center  
246 Water Street Woods Hole, MA 02542, Email: skgardias@NOAA.gov

Fogarty MJ

National Marine Fisheries Service, Northeast Fisheries Science Center  
246 Water Street Woods Hole, MA 02542, Email: Michael.Fogarty@NOAA.gov

Hyun S-Y

University of Massachusetts Dartmouth, School for Marine Science and Technology  
700 Bayley Point Blvd., New Bedford, MA 01944, Email: shyun@seamless.edu

Chadris SX

University of Massachusetts Dartmouth, School for Marine Science and Technology  
700 Bayley Point Blvd., New Bedford, MA 01944, Email: smchadris@seamless.edu

NOAAを中心とするアメリカの研究チーム

25

## ■ EwEプログラム開発の現状 : the 30th Conference報告 Development of EwE: the 30th Conference



### 今後、予想される展開

- Ecopath with Ecosimの開発は成熟段階に入ってきている
- 機能拡張によるモデリングの多面化
  - 水産資源管理
  - 社会経済
  - 時空間モデリング
  - 低次モデルとのカップリング
  - これらの統合  
など...
- パッケージソフトの部分だけでは限界があり、プログラミングによる機能拡張をする能力が必要

\* Visual Basic .NETによるプログラミングが可能

共同利用研究会【海洋生態系モデリングの最前線：成果、連携、次世代への展開】@東大 大気海洋研

26