



水産資源管理におけるデータ収集の重要性とモデル解析の役割 ~マグロ管理の意思決定を例に~

黒田 啓行・高橋 紀夫・境 磨・
藤岡 紘・伊藤 智幸
(水産総合研究センター 遠洋水産研究所)



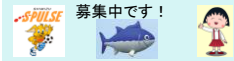
本日の内容



ミナミマグロ大トロ
一貫 1000円

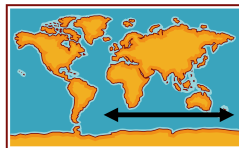
1. ミナミマグロの資源管理の概要
 - 管理の全体像
 - 科学者の役割
2. みなみまぐろ保存委員会における管理方式(MP)の開発
 - OM(仮想現実モデル)の構築
 - MPの作成、評価、選択
 - MP開発の利点、課題
3. まとめ

遠洋水産研究所(@静岡清水)は
研究支援職員
(主に数理解析を担当)を
募集中です!



1. ミナミマグロの資源管理の概要

ミナミマグロとは

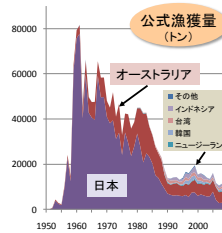


- 分布 南半球温帯域
- 大きさ 2m, 200kg以上
- 寿命 40歳以上(長寿)
- 成熟年齢 10歳(遅い)
- 最高級マグロの一種
 - 寿司・刺身用(インドマグロ)
 - 漁獲量はマグロ全体の1%以下

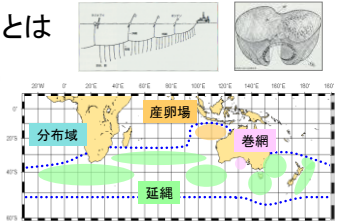


2004産卵場調査
with 小西君

ミナミマグロ漁業とは



- 延縄漁業
 - 日本、台湾、韓国、ニュージーランド(4歳~10歳)
 - インドネシア(10歳以上)
- 巻網漁業
 - オーストラリア(2~4歳)
 - “畜養”(生け簀で小型魚を短期間で太らせる)



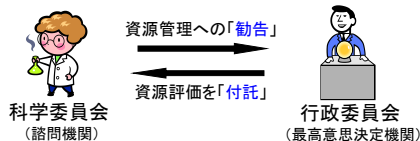
みなみまぐろ保存委員会 CCSBT

Commission for the Conservation of Southern Bluefin Tuna



- 1994年発効
 - 主な漁業国6カ国は全て加盟（日本、オーストラリア、ニュージーランド、韓国、台湾、インドネシア）
 - 公用語は英語と日本語
- 全ての事柄は**全会一致**で決定
- 許容漁獲量(TAC)、**国別割当**による管理
"Total Allowable Catch"
→ 関心が最も高い**"意思決定"**事項

科学者の役割

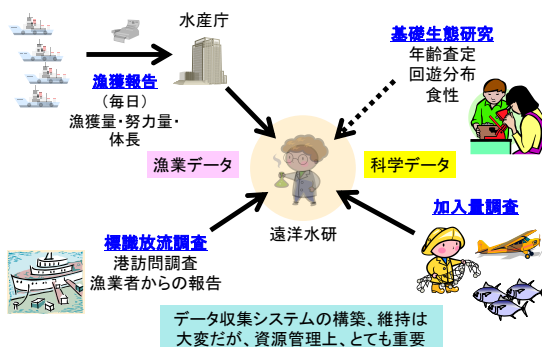


- 最終的な**意志決定**は**行政委員会**（本委員会）が行う
- **諮問機関**として、**科学委員会**を設置
- 漁業・調査データより、資源状態や漁獲の影響を科学的見地から評価し（**資源評価**）、資源状態に応じて**管理勧告**を行う
 - 年1~2回集まって、1~2週間会議を行う

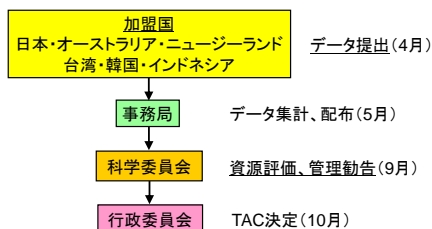
CCSBT科学委員会の様子



日本におけるミナミマグロ漁業の“データ”収集



CCSBTにおける資源評価・管理の流れ



- 国際委員会で、データ提出から漁獲枠決定まで、一貫した仕組みを作るのは意外と大変
- 合理的な資源管理を行うために、各国、各委員会が決められた手順に従って**役割を確実に果たす**ことが重要

2. みなみまぐろ保存委員会における管理方式(MP)の開発

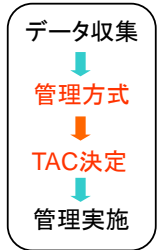
1990年代のミナミマグロ管理

- 資源評価を行った後、単純な将来予測に基づき、TACを決める
- しかし、資源評価に**大きな不確実性**
 - 海の中のことはよくわからないことが多い
 - 漁業データはバイアスを含む可能性
 - 各国科学者が異なる仮説(自然死亡率や資源量指数など)を主張
- 資源状態の見解が国により異なり、行政委員会では長年**TACに合意できず**
- 1998-2000年 **国際裁判**に発展 (日本 vs オーストラリア・ニュージーランド)



管理方式の開発へ

- 2002年 “**管理方式**”(TAC決定ルール)の開発をスタート
- **意思決定**のプロセスを明確化
- IWC(国際捕鯨委員会)以外では、国際漁業管理機関として、世界初
- 行政官や利害関係者と**懇談会**を何度も開催
 - **どういう管理を目指すのか?**



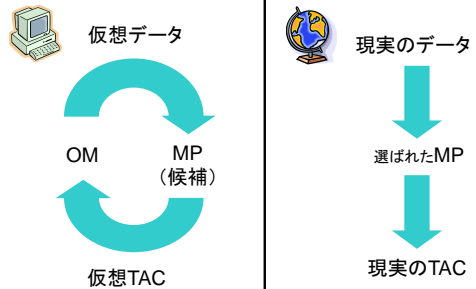
管理方式(MP)とは

"Management Procedure"



- “利用可能なデータからTAC(許容漁獲量)を決めるための**事前に定められたルール**”
 - 例:「魚の釣れ具合(CPUE)が10%良くなれば、TACを5%上げる」
- 環境変動や資源状態に不確実性があっても、常にうまく管理できる**頑健なルール**が理想的
- しかし、実際に海で実験することは不可能
- コンピュータ上に“**オペレーティングモデル**”(OM: 仮想現実モデル)を作り、**シミュレーション**により管理方式をテストし、頑健なルールを選ぶ

開発のイメージ



MP開発の過去の経緯



- 4年間の開発、議論の後、2005年に**MPの最終案**に行政委員会が合意
- その直後に、主要漁業国の**過去の報告漁獲量に不確実性**を確認 → 正確なデータの重要性
- 2006年に行政委員会は**MP実施の延期**を決定
 - Kolody et al. (2008) Fish Res 94: 339-350
 - Kurota et al. (2010) Popul Ecol 52: 359-372
- その後、いくつかの施策により**漁業管理を強化**
- 2009年、行政委員会は科学委員会に**MPの再開発**を指示 → 今日のトピック

オペレーティングモデルの中身



- ミナミマグロの資源動態を**真似た**個体群動態モデル。科学委員会が**共同で作成**。
- **年齢構成モデル**、1種系モデル、空間構造なし

$$N_{a+1,y+1} = N_{a,y} \exp\left(\underbrace{-s_{a,y}}_{\text{漁獲死亡}} \underbrace{F_y}_{\text{自然死亡}} - M_{a,y} \right)$$

選択率

- 再生産関係 (Beverton-Holt式 + **プロセス誤差**)

$$R_i = \frac{\alpha S_i}{\beta + S_i} \times (\text{error})$$

子 ← 親

パラメータ推定



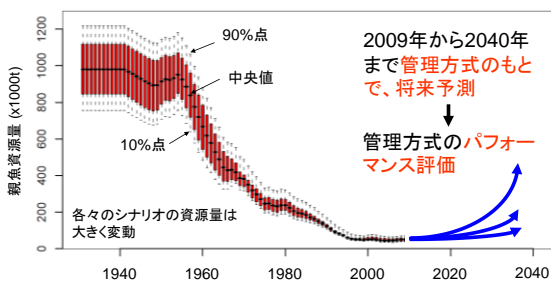
- 過去の漁業・調査データからパラメータを推定
 - 複数のデータを同時にうまく説明するようにパラメータを推定(“統合モデル”)。観測誤差も考慮(状態空間モデル)
 - フィットさせるデータ: はえ縄CPUE、年齢・体長組成、標識再捕データ、加入量指数(航空機目視)
 - 推定パラメータ: 資源量、漁獲死亡率、選択率、加入量など
- パラメータやデータの不確実性をより適切に反映させるために、
 - (直接推定しづらい)再生産関係、自然死亡率などの重要なパラメータは値を外から“いくつか”与える
 - 複数(180通り)のシナリオを「データの当てはまり具合(尤度)」や「専門家の判断」で重み付けし、1つに統合(2000個のシナリオ) → リファレンス・セット(ベースとなるOM)

様々な不確実性への対応

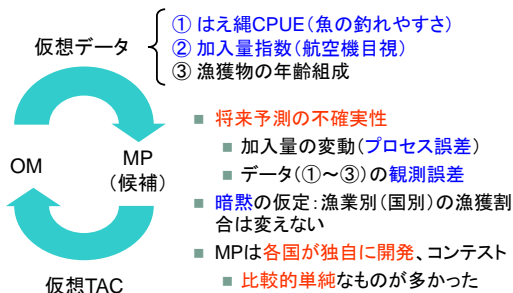


- パラメータの不確実性
 - データの不確実性
 - 将来予測の不確実性 (例)加入量の変動、漁業形態の大きな変化
 - モデル構造の不確実性
- ①リファレンスセットで考慮
- ②頑健性テストの実施(①には含まれていないが重要)
- ・加入の急減
 - ・CPUEのバイアスなど
- 別の枠組(③メタルール)も用意
- ↓
- 定期レビューの際、想定外の出来事が明らかになった場合の対応手順を明記

リファレンスセットにおける過去の推定資源量



管理方式(MP)の開発



管理方式“HK7” (“Hiroyuki Kurota ver.7”)

- 比較的シンプルなアルゴリズムを持つルール
- 「過去7年間のCPUEのトレンド」と「過去3年間の加入量指標」からそれぞれTACを求め、その小さい方の値を採用
- TACの変化が緩やかになるようにパラメータを調整

$$\delta TAC_{t+1}^{HK7} = \begin{cases} (1-k_1)k_2 & \lambda < 0 \\ 1+k_1\lambda & \lambda \geq 0 \end{cases}$$

where λ is CPUE slope (from $y-8$ to $y-2$), k_1, k_2 are parameters.

$$\delta TAC_{t+1}^{BREM} = \begin{cases} 1 + \beta_{cur} \left(\frac{AS_{cur}}{AS_{tar}} - 1 \right) & AS_{cur} \geq AS_{tar} \\ 1 + \beta_{tar} \left(\left(\frac{AS_{cur}}{AS_{tar}} \right)^{\gamma} - 1 \right) & AS_{cur} < AS_{tar} \end{cases}$$

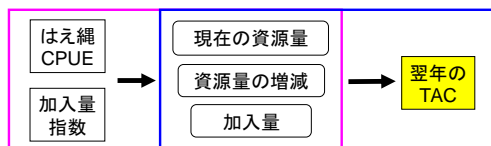
where AS_{cur} is current AS index (3yrs), AS_{tar} is a target AS index, β, γ are parameters.

$$TAC_{t+1} = TAC_t \times \min(\delta TAC_{t+1}^{HK7}, \delta TAC_{t+1}^{BREM})$$

管理方式“BREM”

(Biomass Random Effect Model; Hillary et al. 2010)

- ① 比較的簡単な資源動態モデルにより、(1)現在の資源量、(2)資源の増減、(3)加入量を推定する
- ② それら3つの推定値に応じてTACを設定

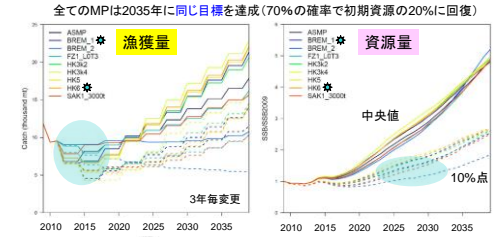


“うまい管理”とは？



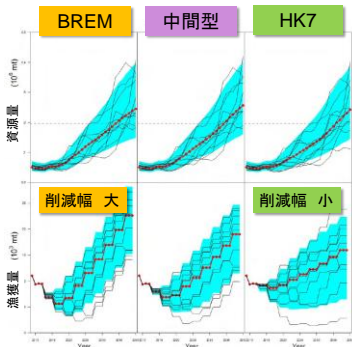
- ① 漁獲量の最大化 “たくさんとりたい”
 - ② 漁獲量の安定性 “増減は少しずつ”
 - ③ 資源の安全性 “絶滅なんて、もってのほか”
- いくつかの指標によって、それぞれの観点から評価
 - 例:「5年間の平均漁獲量」、「最大の漁獲量削減幅」、「最低資源量」など
 - 「①と③」または「②と③」は**トレードオフ**の関係
 - シミュレーション結果をもとに、関係者間で議論
 - **管理(回復)目標**も行政委員会を中心に**見直し**
 - 資源量を「2035年(もしくは2040年)」に「**初期資源量の20%レベル**」までに「**70%の確率**」で回復させる
 - 複数のMPを比較する際、この目標を達成するように、各MPのパラメータを調整

MPの第一次選択 (2010年6月管理方式WS)



- “early pain, late gain”
 - 素早く大幅にTACを削減すると、資源崩壊はリスクは小さくなり、また将来のTACは多くなる
 - 一方、早期のTACの大幅削減は社会経済的には痛みが伴う
- 比較的痛みを伴う2つのMP (BREM1とHK6) を選択

MPの最終選択 (2010年9月科学委員会)



- 両MPの様々なバリエーションをテスト
- 科学委員会は、**TACの初期削減幅**(反応性)の異なる2つのMP(+中間型)を行政委員会に提示
- しかし、2010年10月の行政委員会では**最終合意に至らず**
- 2011年8月に最終化の予定

管理方式開発の利点

- 不確実性に対して**頑健なTAC**の算出
 - 調べた範囲(リファレンスセット&頑健性テスト)では、頑健性は意外と高かった
 - 机上の議論を続けるよりも、シミュレーションで確認
- 意思決定の**透明化**・**迅速化**・**一貫性**の確保
- **管理システム全体の整備**が進む
 - 関係者間の意思疎通が進む
 - **管理目標**の設定にも寄与。理想の管理とは？
- 科学的論点の**明確化**
 - 「最終結果」ではなく、「方法・過程」で議論
 - 生物学的、資源学的理解も進む



今後の課題



- “**当たる**”OMを作るのは**結構難しい**
 - 「減多に起こらないこと」はよく起こる。**将来予測との齟齬**。
 - 突然の加入減、CPUEの急上昇など
- **不確実性**を十分に捉えられるか？
 - 現実的に検討可能な範囲に限られる
 - **モニタリング・定期レビュー + メタルール**
 - ある程度の**試行錯誤**は必要
- 専門家以外の関係者への**説明**
 - 目的、利点、**限界**を理解してもらう必要性。**正直**に話す。
- 厳しい時間的制約、人材不足、金銭的負担
 - 他のマグロでも同様のプロジェクトを検討中

まとめ

水産資源管理におけるデータ収集の重要性とモデル解析の役割
 ~マグロ管理の意思決定を例に~



- ミナミマグロ管理において、**一貫したデータ収集は合理的な管理の実施に貢献**
 - データは資源評価、OM構築のための基盤
 - データから**MP**を用いてTACを計算
- **思考実験の場としてのOMの活用**により、**合意形成が進展(モデル解析の効用)**
 - 資源管理上、重要な要因の**客観的**な抽出
- 意思決定支援システムの開発作業は、関係者間でよく話し合っ、計画的に、進めることが重要