

Chapter 5

Fishing

担当：濱邊昂平

本章の概要

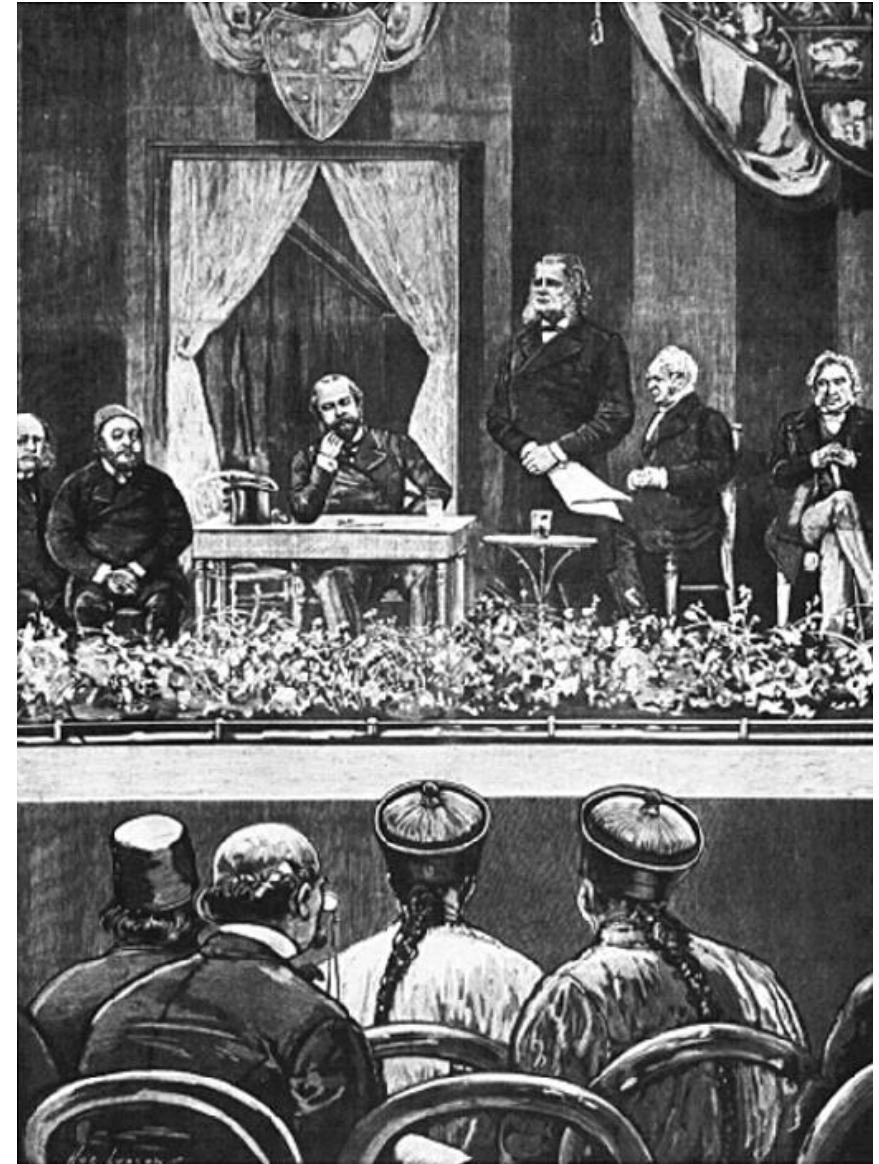
- 漁業の影響を人口統計学に組み込む
- 漁具の選択率について考察
 - ⇒ 体重を形質としてモデルを作っているため必要不可欠
- 漁業が大型種と小型種に与える影響について考察
 - ⇒ 小型種は環境変化の影響が大きい
- Reference pointsの算出
- 漁業生産量Yieldの算出（⇒MSY計算）
- 各reference pointsと極限体重との関係
- 各reference pointsと生物パラメータ(a , ε_R)との関係
- 漁獲生産量を最大にする漁具について

導入

- 漁業は水産資源の人口統計と加入にどのように影響するか？
 - 水産資源のターゲットはすべての種類
(小型種から大型種まで)
 - ⇒ 漁業のインパクトは種に依存する
- 資源に関する語の定義について
 - stock: 水産資源学者 population: 生態学者
 - ⇒ 本文中では、魚類一般についてはpopulation
利用できる資源についてはstockという単語を使っている

導入 Thomas Huxleyについて

- 漁業の影響は1882年開催されたFishries Exhibition in LondonでThomas Huxleyの就任演説で取り上げられた
- 有名な一説 『私は信じています…すべての海の漁業は無尽蔵で、魚の資源量に深刻な影響を与えることない』
- この文がよく引用されるため、嘲笑されているらしい



導入 Thomas Huxleyについて

- しかし、この引用箇所以外では、
『一部の漁業が枯渇する可能性があることは間違いありません』
とも述べている
- この声明は事例証拠やFの表面的評価、Mの考察に基づく、緩い議論に基づいている
- 漁業よりも生態系内の捕食の影響の方が大きいと結論
⇒ 『漁業を規制するいかなる試みも、
捕食の影響の大きさを考慮すると、役に立たない』

結果として、Huxleyの主張は間違っていた

- 既にこの演説の時に、世界では乱獲が少しずつ起きていた
 - ・ 大西洋オヒョウ漁業は崩壊
 - ・ 米国漁業委員会はNew Englandの漁業崩壊理由解明のため設立された

導入

漁業管理する時に、管理者は何を知る必要があるか？

- どれだけの量、漁獲できるか？
- 漁獲量を最適化できる漁具とは？
- もし被食捕食関係に変化があった場合に、何が起きるか？

これらの観点からreference pointsが便利です

- 管理の目標や上限値として用いられる数値
- 漁業の影響に関する情報が濃縮されてる

乱獲からの回復などに関連する所はChapter 7で触れる

導入

- 実際には、漁業の影響を定量的に評価し、安定したreference pointsを推定することは実に難しい
- 4章で人口統計学を扱ったので、それに漁獲死亡を加えることで、体長構造や加入の影響を評価できる
- ここからReference pointsを計算できる
- この章では極限サイズを10 g, 333 g, 10 kgの3つに指定

導入

- 漁獲サイズのバイオマス： $B_F(t)$
- 漁獲圧： μ_F としたとき漁獲での時間的なバイオマスの変化は

$$\frac{dB_F(t)}{dt} = -\mu_F B_F(t) \Leftrightarrow B_F(t) = B_F(0)e^{-\mu_F t}$$

- 加入がなければ、資源は指数的に減少する

$$B_F(1\text{yr}) / B_F(0) = 1 - e^{-\mu_F}$$

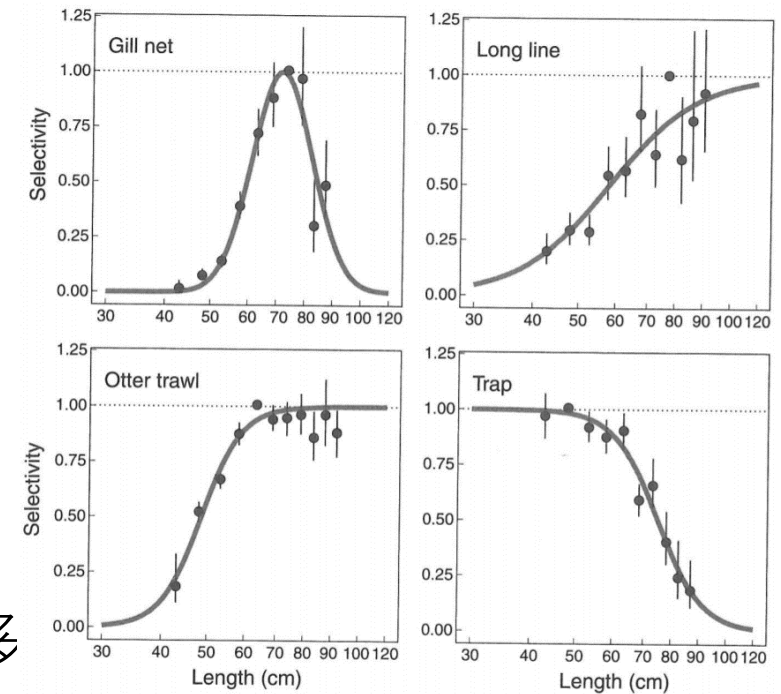
- とすれば、年率の減少率として表現できる

5.1 FISHRIES SELECTIVITY

- 全ての漁具は魚を選択している
- 影響を受ける体サイズ範囲は漁具の選択性によって示される
 - 刺網は選択性が強い
 - 曳網は一定体長より大きければ取られる
- 選択率： $\psi_F(w)$ 、最大漁獲死亡： F とすると
$$\mu_F(w) = F\psi_F(w)$$

選択率の重要性

- 選択率の範囲の体サイズが影響を受ける
 - ⇒ 刺網よりトロールの方が資源に与える影響多
- 生活史内のいつに漁獲されるのか
 - ⇒ 成熟するより先か否か



5.1 FISHRIES SELECTIVITY

- 本書ではトロールと刺網について集中的に見る
- トロールの選択曲線はシグモイド曲線で表せる

$$\psi_{\text{trawl}} = [1 + (w/w_F)^{-u}]^{-1}$$

- w_F は選択率50%の体重
- u は曲線のシャープネスのパラメータ
- $w_F = \eta_F w_\infty$ と仮定 ($\eta_F \approx 0.05$)

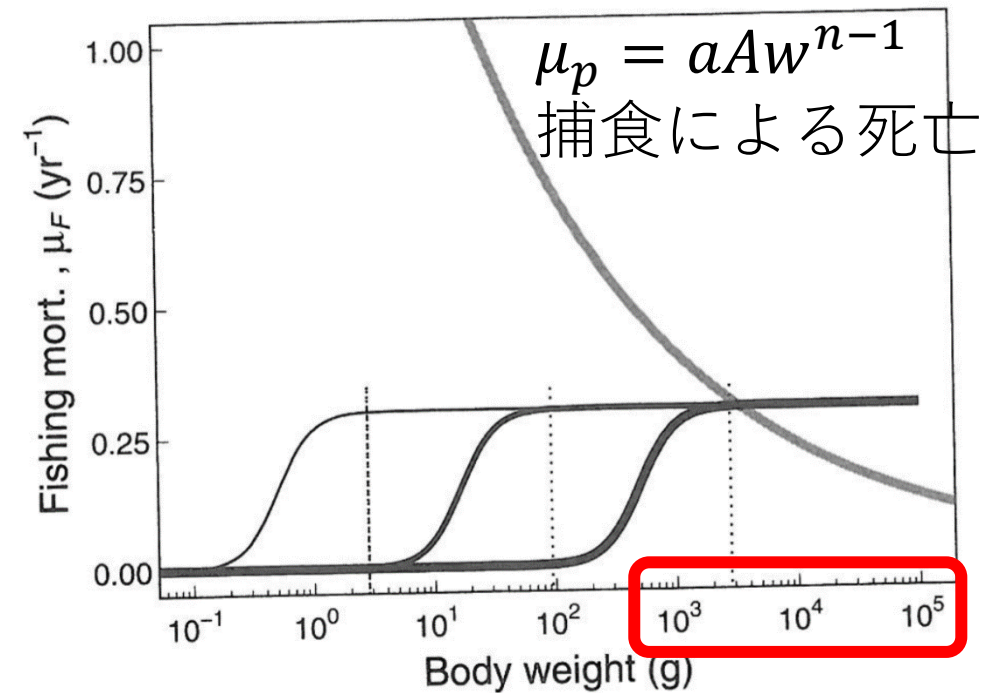
- 刺網の選択曲線は対数正規で表現

$$\psi_{\text{gillnet}} = \exp[-\log^2(w/w_F)/\sigma_F^2] \quad (\sigma_F \approx 1.5)$$

5.2 IMPACT OF FISHING ON SMALL AND LARGE SPECIES

自然死亡と漁獲死亡の比較

- 小型種では $M > F$
- 大型種では F の影響も大きめ
- 漁業の影響は小型種より大型種の方が大きい
- 小型種は高い M に対して、早い生活史サイクルで対応している
- 大型種は高い密度依存性がある
- Huxleyの主張は、 F は M より“無限に”低いという主張に基づいていたが、Huxleyの仮定 (F が 0.05 yr^{-1}) は多くの漁業よりも低い値を使っていた



5.2 IMPACT OF FISHING ON SMALL AND LARGE SPECIES

体サイズや成長速度の違いが B_F に与える影響について

- (+) 漁獲サイズに成長するバイオマス
- (-) 捕食と漁獲で減耗する分

⇒ B_F は、2つのバランスで成り立っている

- 定常状態ではこの2つのバランスは等しい

$$J_F = aAw_F^{n-1}B_F + FB_F, \quad B_F \propto \frac{J_F}{aAW_\infty^{n-1} + F} \quad (\because w_F \propto W_\infty)$$

- バイオマスが減少する場合

$$\frac{B_F}{B_F(F=0)} - 1 = \frac{F}{aA} W_\infty^{1-n}$$

5.2 IMPACT OF FISHING ON SMALL AND LARGE SPECIES

バイオマスの減少 ($-1 < \frac{F}{aA} W_{\infty}^{1-n} < 0$) について

- 極限サイズが増加すると減少の度合いも増す
- 漁獲死亡Fと成長係数Aの比である

⇒ 高いAは高いFを許容できる

成長率が高い方が捕食死亡率が高いこと？

完全な資源評価モデルを組むためには、4章の人口統計学と5.1の漁獲死亡についてまとめる必要がある

- Appendix 1参照

5.2 IMPACT OF FISHING ON SMALL AND LARGE SPECIES

TABLE A.1. Complete Model Equations for the Size Spectrum Model of a Single Stock with Beverton-Holt Recruitment

	Equation	References
Growth rate	$g(w) = Aw^n \left[1 - \psi_m \left(\frac{w}{\eta_m W_\infty} \right) \left(\frac{w}{W_\infty} \right)^{1-n} \right]$	Eq. 3.18
Maturation	$\psi_m(z) = [1 + z^{-5}]^{-1}$	Eq. 3.15
Predation mortality	$\mu_p(w) = aAw^{n-1}$	Eq. 4.7
Fishing mortality	$\mu_F(w) = F\psi_F(w)$	Eqs. 5.3 and 5.4
Survival	$P_{w_R \rightarrow w} = \exp \left[- \int_{w_R}^w \frac{\mu_p(\omega) + \mu_F(\omega)}{g(\omega)} d\omega \right]$	Eq. 4.9
Spectrum	$\frac{B(w)}{R} = \frac{w}{g(w)} P_{w_R \rightarrow w}$	Eq. 4.9
Spawning stock biomass	$\frac{B_{SSB}}{R} = \int_{w_R}^{W_\infty} \psi_m \left(\frac{w}{\eta_m W_\infty} \right) \frac{B(w)}{R} dw$	
Egg production	$\frac{R_p}{R} = \frac{\varepsilon_R \varepsilon_{egg}}{w_0} \left(\frac{w_R}{w_0} \right)^{-a} AW_\infty^{n-1} \frac{B_{SSB}}{R}$	Eq. 4.35
Recruitment	$R/R_{\max} = 1 - (R_p/R)^{-1}$	Eq. 4.37
Fisheries yield	$Y = \int_{w_R}^{W_\infty} \mu_F(w) B(w) dw$	Eq. 5.7

Note: Box 4.4 provides the numerical solution procedure for the survival. The solutions will end up being scaled with the maximum recruitment R_{\max} —that is, the spectrum $B(w)/R_{\max}$, the spawning stock biomass B_{SSB}/R_{\max} , and the recruitment R/R_{\max} .

TABLE A.2. Parameters Used in the Size Spectrum Model of a Single Stock

	Parameter	Value	Reference
A	Growth coefficient	$5.35 \text{ g}^{0.25} \text{ yr}^{-1}$	Fig. 3.3
a	Physiological mortality	0.42	Fig. 4.6
η_m	Maturation relative to W_∞	0.28	Fig. 3.4
ε_{egg}	Reproductive efficiency	0.22	Fig. 3.5
ε_R	Recruitment efficiency	0.03	†
F	Fishing mortality level	Variable	
n	Metabolic exponent	0.75	p. 24
W_∞	Asymptotic weight	Variable	
w_0	Egg weight	0.001 g	
w_R	Size at recruitment	0.001 g	

† Adjusted to obtain reference points in the right range.

TABLE A.3. Relations Between Physiological and Classic Parameters

Parameter	Relation
Asymptotic weight	$W_\infty = cL_\infty^3$
Growth coefficient	$A \approx 3c^{1/4} \eta_m^{-1/12} KL_\infty^{3/4}$
Physiological mortality	$a = \frac{1}{3} \frac{M}{K} \eta_m^{1/3}$
Recruitment efficiency	$\varepsilon_R = \alpha (\varepsilon_{egg} P_{w_0 \rightarrow w_R} AW_\infty^{n-1} / w_0)^{-1}$
Maturation relative to W_∞	$\eta_m \approx (27/K^3 / t_{\text{mat}}^3) / 64$
Asymptotic length	$L_\infty = (W_\infty / c)^{1/3}$
Von Bertalanffy growth constant	$K \approx Ac^{-1/4} \eta_m^{1/12} L_\infty^{-3/4} / 3$
Adult mortality	$M = 3\eta_m^{-1/3} K$
Recruitment parameter	$\alpha = \varepsilon_R \varepsilon_{egg} P_{w_0 \rightarrow w_R} AW_\infty^{n-1} / w_0$
Age at maturation	$t_{\text{mat}} \approx W_\infty^{1-n} \frac{\ln(1-\eta_m^{1-n})}{A(n-1)} \approx 0.75 W_\infty^{1-n}$

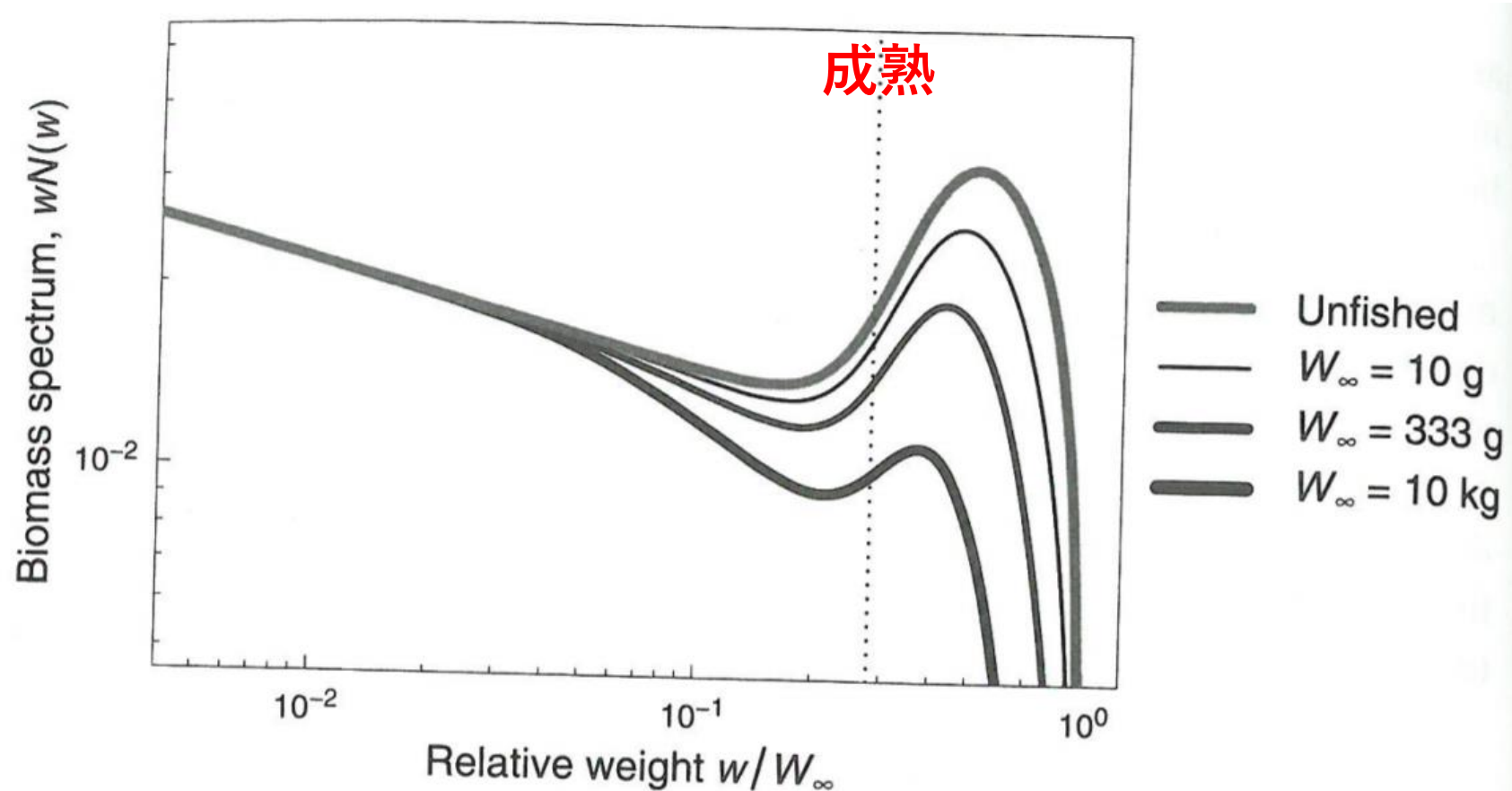
n
の
あ
率
め
が

.1の

5.2 IMPACT OF FISHING ON SMALL AND LARGE SPECIES

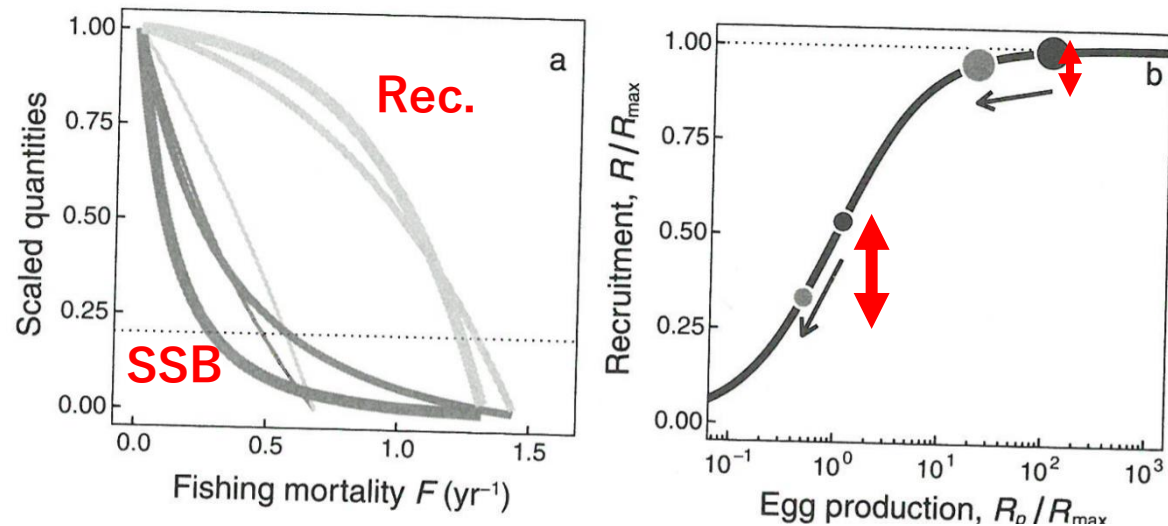
相対体重とバイオマスの関係

- トロールの選択曲線、 $F=0.3 \text{ yr}^{-1}$ で作図



5.2 IMPACT OF FISHING ON SMALL AND LARGE SPECIES

- SSBは低い F では敏感であるが、高い F では安定している
⇒ そもそも高い F では大型種はいない
- SSBよりも加入の方が、適度な漁業での影響は小さい
- (4章と同じで)大型種は再生産関係の上のフラットな所にいる
逆に小型種は、下のリニアな所にいる



5.3 FISHRIES REFERENCE POINTS

- 漁業に対する資源の回復は、reference pointのセットに凝縮されている
- Reference pointsは現代の水産資源管理の漁獲ルールを中心
例. 目標基準値や限界基準値等
- Biomass reference points : 資源量に関する
- Exploitation reference points : 漁獲死亡のレベルに関する
例. SSBがtarget reference pointに近い(これだけなら○)
漁獲死亡がlimit reference pointを超えている
⇒ 将来的にはSSBが減じていくので、
漁獲死亡を減らすような管理を行う必要あり

5.3 FISHRIES REFERENCE POINTS

- Reference pointはMSYと関連している
⇒ F_{msy} や B_{msy} 等
- MSYは救世主といわれ、裏切り者といわれ、様々な過去を持つ
- 今では、MSYはgold standardとして復権(Hilborn & Stokes, 2010)
 - 米国：Magnuson-Stevens fisheries management and conservation act
 - EU：revised Common Fishries Policy
 - 国際：国連海洋法条約UNCLOS
- MSYは水産資源を生産システムとみなし、効率的に高い漁獲量を最小のFで獲得しようとするのが目標

5.3 FISHRIES REFERENCE POINTS

Maximum Sustainable Yield (MSY)

- *Maximum*は分かる
- *Sustainable*と *Yield*は何を持続的で生産量なのか分からない
⇒ 何が持続可能かは価値観の問題 (Quinn & Collie, 2005)
- Brundtland Commissionの会議では、
『将来の世代が将来のニーズを満たす能力を損なうことがないように、現在のニーズを満たすこと』
- MSYの文脈中ではsustainableはsustainedと解釈されることが多いが、これは持続可能のかなり狭い定義である

5.3 FISHRIES REFERENCE POINTS

Maximum Sustainable Yield (MSY)

- 通常、 *Yield*は時間当たりの水揚げ量と解釈される
- 年間水揚げ量の経済価値等のように経済的な表現も可能
- MSYのこういった曖昧さはUNCLOS中にも現れている

Andersonは

- *Yield*は時間当たりの漁獲量(バイオマス)と定義 (狭義の方)
- 現代の漁業管理ではこっちの意味の方が主流
- (sustainableの方は！？)

5.3 FISHRIES REFERENCE POINTS

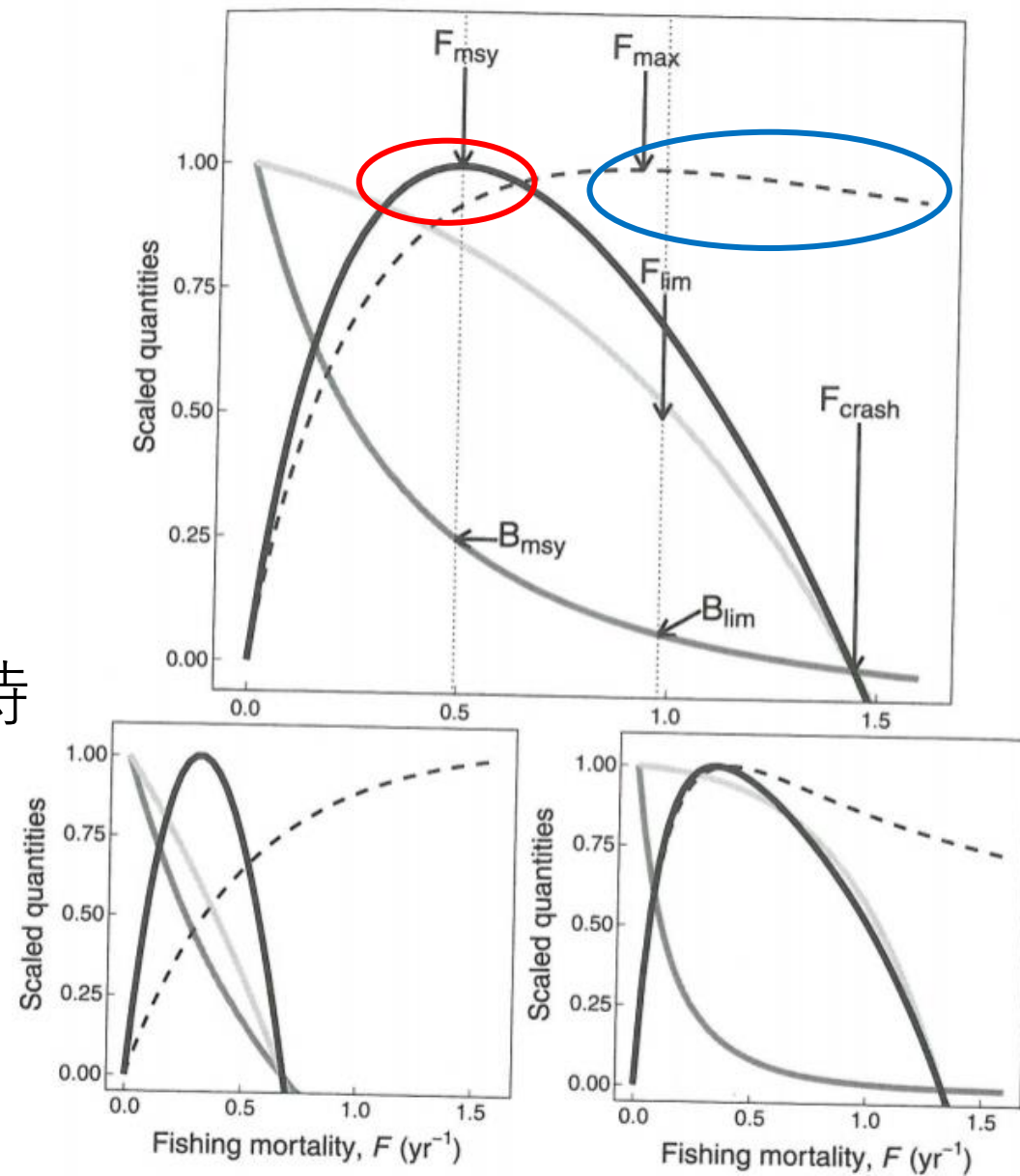
- 漁獲生産量(バイオマス/時間)は以下のようにあらわせる

$$Y = \int_{w_R}^{W_\infty} \mu_F(w) B(w) dw$$

- 指標として $Y_R = Y/R$ もしばしば用いられる
 - ・ 漁業による加入量の変化を無視している
- ⇒ 加入が漁業の影響を受けないことが分かっている時のみ利用可

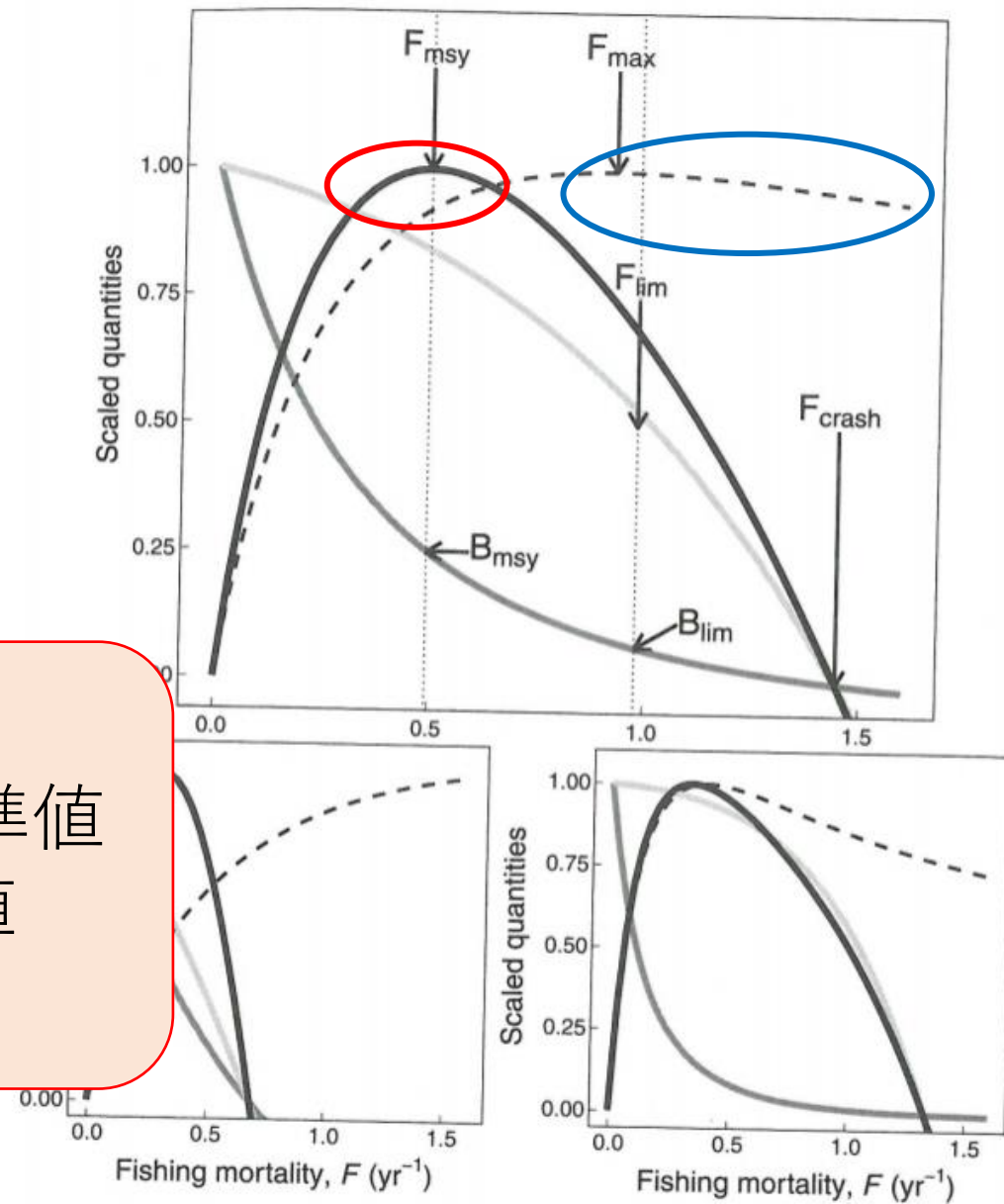
5.3 FISHRIES REFERENCE POINTS

- Reference pointを図示 (Fig. 5.7)
- 漁獲生産量は F_{msy} 付近でピーク
⇒ F_{msy} で漁業している時、資源は B_{msy}
- Y/R は F_{max} で最大にそこから少しずつ減じる
- limitは加入が最大加入の半分になった時
 $R/R_{max} = 1/2$
- F_{crash} については $R_0=1$ の時(R_0 ?)



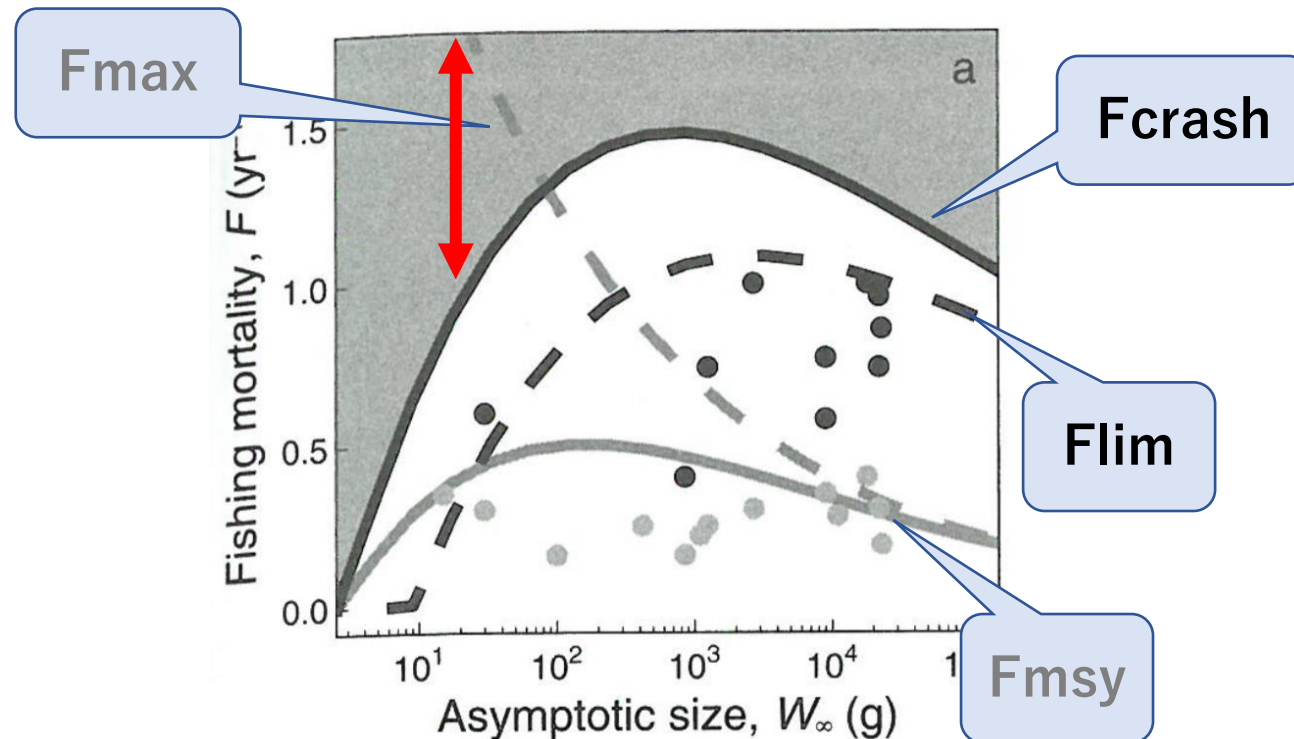
5.3 FISHRIES REFERENCE POINTS

- Reference pointを図示 (Fig. 5.7)
- 漁獲生産量は F_{msy} 付近でピーク
⇒ F_{msy} で漁業している時、資源は B_{msy}
- Y/R は F_{max} で最大にそこから少しずつ減じる
- さらに管理基準値の定義として
 - ICESでは“予防的”と“管理”の管理基準値
 - 米国では“optimal yield”を管理基準値等がある



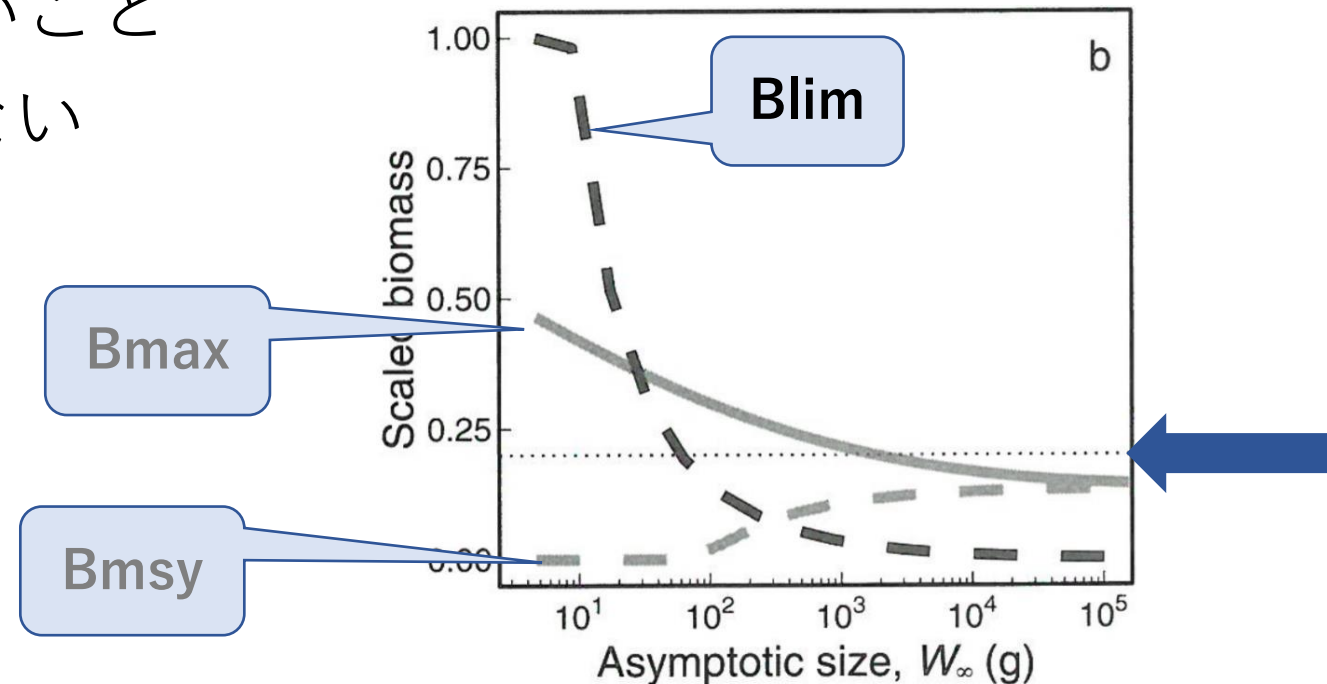
5.3 FISHRIES REFERENCE POINTS

- F のreference pointsは極限サイズに独立している
- 極限サイズが小さい種では F_{\max} は F_{crash} を超えてしまう
 - ⇒ 小型種では F_{crash} 以上の漁獲圧がかかることがある
 - ⇒ YPRでは漁業による加入の変動を考慮出来ていないことを反映



5.3 FISHRIES REFERENCE POINTS

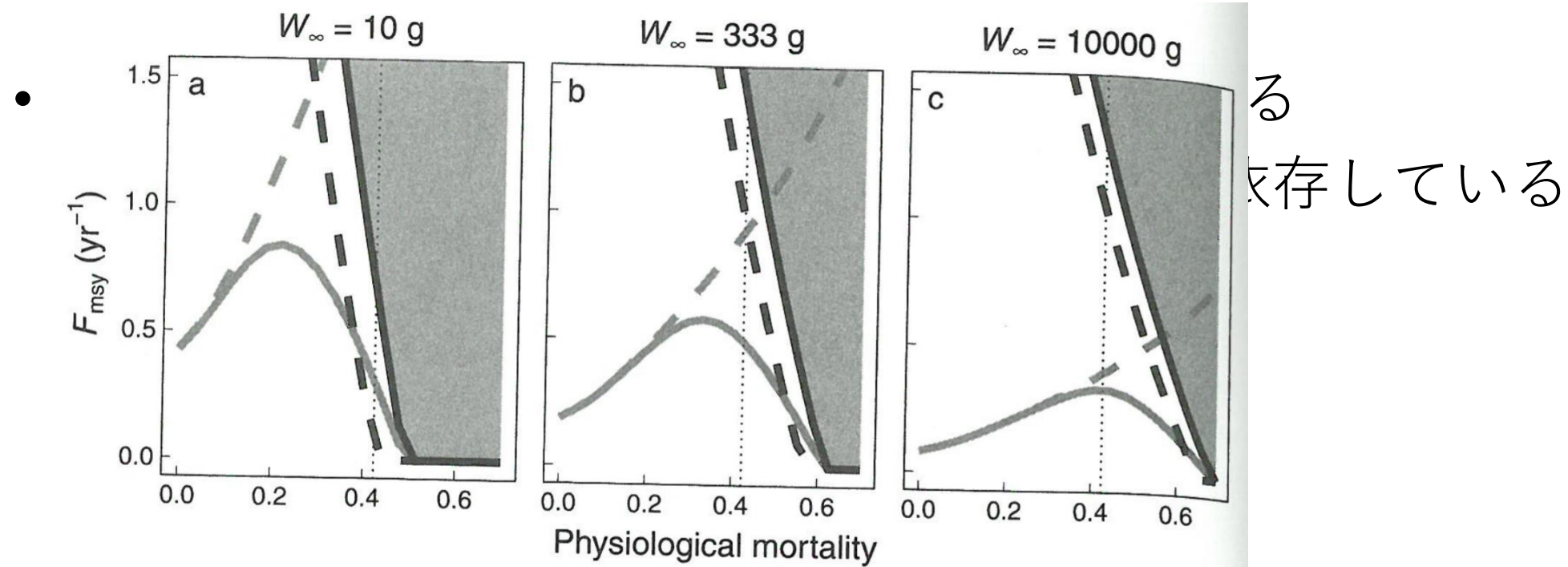
- 漁業管理で資源の“崩壊”について定義する必要がある
 - B_{ssb0} と現状のSSBとの比が用いられる ($0.2SSB0$ とか)
⇒あまり適切ではない値である
 - 大型種では F_{msy} で漁業するとSSB0の80%が開発される
 - 初期資源量の推定が難しいことから、 $0.2SSB0$ は良くない



5.3 FISHRIES REFERENCE POINTS

- Reference pointsが極限サイズに依存している
 - ⇒ 極限サイズは、その他のパラメータにも依存している
 - 成長係数 A
 - physiological mortality a
 - 加入効率 ε_R
- Physiological mortality a の変化は対象資源周辺の群集構造の変化
 - a は捕食死亡と成長の比
- a を変化させることで、生態系の影響を感度分析できる

5.3 FISHRIES REFERENCE POINTS



- Physiological mortality a の変化は対象資源周辺の群集構造の変化
 - a は捕食死亡と成長の比
- a が下がると F_{lim} が高く、漁獲生産量 (B_{msy}) も大きくなる

5.3 FISHRIES REFERENCE POINTS

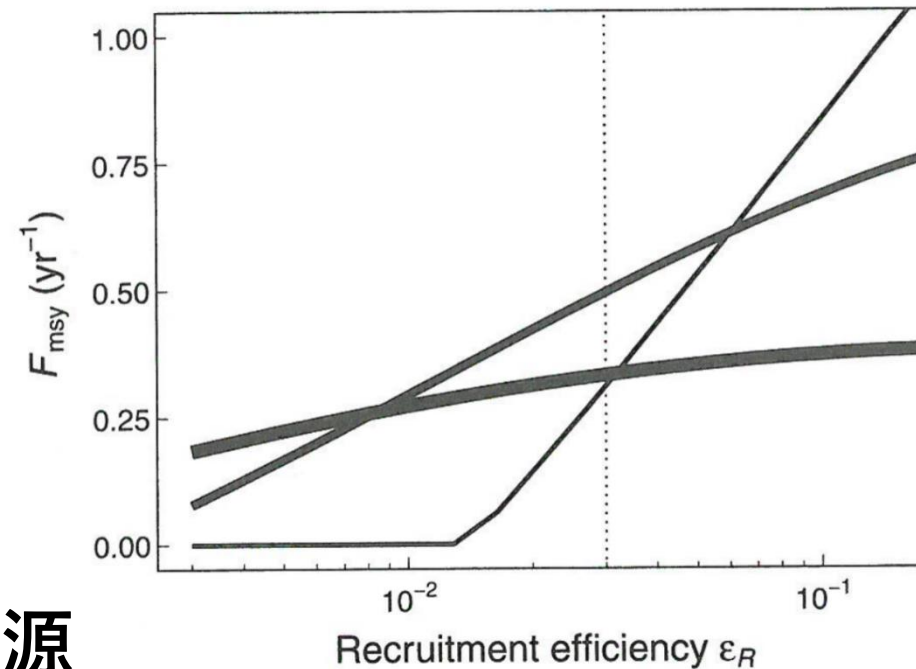
- 魚類群集構造の変化が漁業に与えた事例
 - ・ 北海(Daan et al., 2005)
 - ・ 北大西洋(Frank et al., 2005)
- 小型種への捕食圧が減り、小型種が増えた
- 北海では深海魚種資源が回復してきてる
 - ・ 小型種への捕食圧が再度高まってきている
- この事例については、12章で詳細に触れる

5.3 FISHRIES REFERENCE POINTS

加入効率 ϵ_R

- 年間でランダムに変動する値
 - 変動の効果については動的モデルを用いる（7章で解説）
 - 加入効率の変動がreference pointに与える影響の程度は、極限サイズで異なる
 - 大型種：加入効率の変動の影響を受けない
 - 小型種：Fmsyは加入効率の変化に敏感
- ⇒ 大型種と小型種の密度依存性の程度の違いを反映
- 小型種：密度依存性の影響が少なく、環境変化に敏感
 - 大型種：密度依存性の影響が大きい

5.3 FISHRIES REFERENCE POINTS

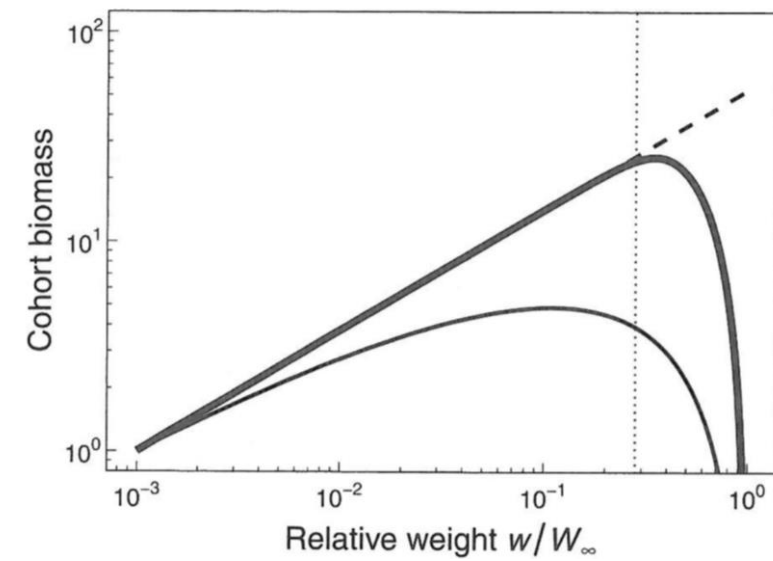


北海のsand eel資源

- 体長20 gほどの小型種
- 加入が大きく変動するため漁獲量の変動も大きい
- 資源は加入に敏感であるため、管理者は毎年の加入量を推定する
- この推定値を年間の漁獲割当量の基準値として用いる

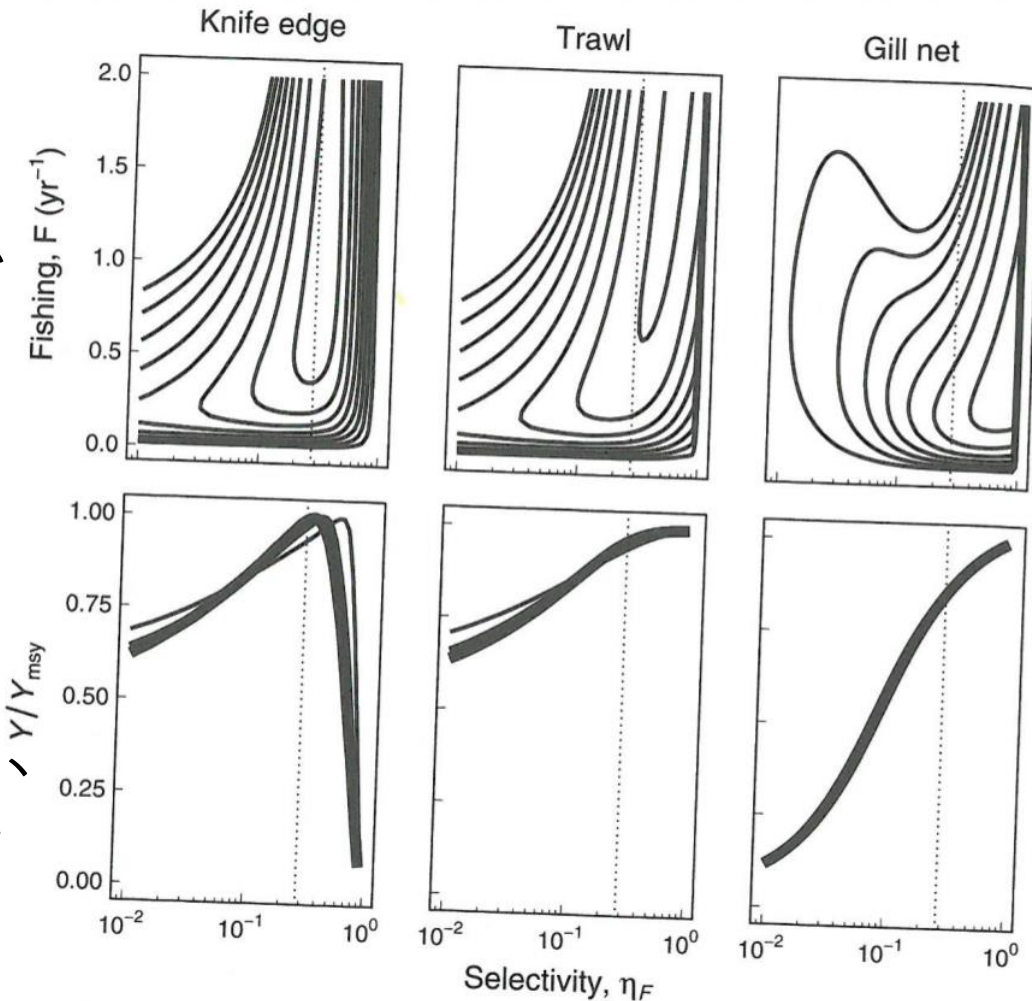
5.4 WHICH GEAR SELECTIVITY MAXIMIZED YIELD

- これまでトロールの選択率で議論してきた
- 漁具の選択率がreference pointに与える影響は大きい
 - 選択サイズの狭い漁具で、選択サイズの広い漁具と同等の漁獲量を得るには、Fを大きくする必要がある
- 魚が高い生産量を生み出す体サイズはいくつか？
- 加入を無視すれば、fig4.3の
コホートバイオマスが最大になる箇所
- (再生産を無視している)
- 異なる3種類の漁具の結果で比較をした



5.4 WHICH GEAR SELECTIVITY MAXIMIZED YIELD

- 成熟個体を選択すると生産量が最大になる
- 成熟サイズより大きい時の生産量は漁具による
- コホートベースと考え方が近い
- トロールについては生産量の比が高く、正確な選択率のサイズを必要としない



5.5 SUMMARY

- 単一の資源について、漁業の生態学的影響の評価に適用できる理論的枠組みを定式化した
- この枠組みは極限サイズを変化させ、表A.2の“デフォルト”の生活史パラメータを用いるだけで、全ての魚種に対して広く評価できる

特定の資源について、扱いたい場合

- 特定の資源についてのパラメータを用いる
 - 特定の資源に適した成長式を用いる
-
- この枠組みでreference pointsの推定が可能なことと、漁業への回復力がパラメータに依存することを示した

5.5 SUMMARY

BOFF(the big old fecund female)の例

- 卵の産出量が多く、かつその生存率が高い(ε_R が高い)
- ほとんどの漁業は資源内の最大魚を漁獲対象とする
⇒BOFFの潜在的な重要性を枠組みを通して議論できる
- サイズベースな枠組みを適用することで、資源の少ないBOFFのような集団を測ることができ
- どのような条件下で、資源の保護が優先されるかを評価することができる
- Calduch-Verdiellら(2014)で適用されており、BOFFは資源の再生産力のほんの一部にしか貢献していないことが示された
- したがって、BOFFの保護努力は漁業資源の顕著な保護や回復にはつながらないと考えられる

5.5 SUMMARY

- MSYと加入の減少を基に、reference pointsの計算を行った
⇒ 個体群動態が開発にに対してどのように反応するかを記述
- 管理目標によっては、他の観点をreference pointsに組み込んでも良い
ex.) the maximum economic yield (MEY)
 - ・ 魚価：大型の魚 > 小型の魚
 - ・ 漁獲努力にはコスト(費用)がかかる (F と水揚げ量に比例)
⇒ MSYよりも低い F で最大生産量が得られる
- F_{msy} より少し低い F であっても、MSYとそれほど生産量は変わらない
- F の基準値を下げることは、観測されない加入の変動に対して安全
- Ray Hilbornによる“pretty good yield”という提案は、このような実用的な考慮から生まれたもの(“optimal yield”も同様)

5.5 SUMMARY

Data-poor資源への適用について

- 漁業管理というといワシやニシン、タラなど生産性が高い魚種に対して、先進国が行うイメージ
⇒ 経済的文化的重要性から、お金がかかる
- 世界中の資源がこういった関心があるわけではなく、情報不足から部分的な管理が行われている
- 途上国だけでなく、先進国の混獲種もこういった種に該当する
- Data-poor種の管理の開発には、わずかな情報を活用し、類似資源の情報を利用する必要がある
- ⇒ “Robin Hood”アプローチという(Punt et al., 2011)

5.5 SUMMARY

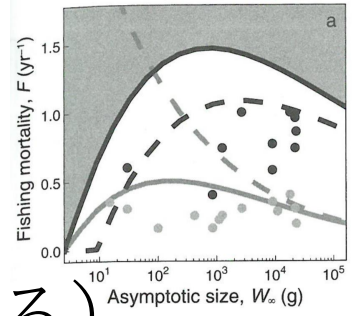
Data-poor資源への適用について

- 形質ベース法はロビンフッド法実装の正式な方法を提供している
- 最も data-poor な状況でも、最大サイズを極限サイズの最初の推定値に
- 成長率を得ることは難しいが、個体群に与える影響は小さい
- 極限サイズが分かれば
- → 漁獲物の大きさに基づいて漁獲死亡率の資源評価ができる
- → reference points の推定も出来る
- 推定された漁獲死亡率と reference points はどちらも成長率に比例している
 - ⇒ A が分からないこと自体は問題
 - ⇒ F/F_{msy} の比として考えた場合は問題ない
- 成長率が不明であっても、資源が乱獲状態か否かの判断は可能

5.5 SUMMARY

- 最も印象的なことは、魚類資源の漁業に対する回復力である
- 計算上だと、長寿命種であっても再生産力を損なうことなく、毎年資源の25%ほどを除くことができる
- 平均的な種は完全に崩壊するまでに、1年以上高い漁獲強度に耐えることができる
- これは長寿生物の中では驚異的な回復力
- 小型種は大型種より回復力が低い（これは代謝論に反している）

5.5 SUMMARY



- 小型種は大型種より回復力が低い（これは代謝論に反している）
- 代謝論では体サイズの -0.25 の指数スケールになる
- Reference pointsの計算では F_{max} のみが代謝スケーリングに従っており、他の基準値は $W_{\infty}^{-0.25}$ スケーリングに従っていない
- 大型種は密度依存の加入がバッファーとなって漁獲死亡の影響を置き換えている
- したがって、小型種が漁業の影響を受けやすいわけではなく、大型種が例外的に回復力ある
- サメとエイは除いて
- 8章でサメについて扱う