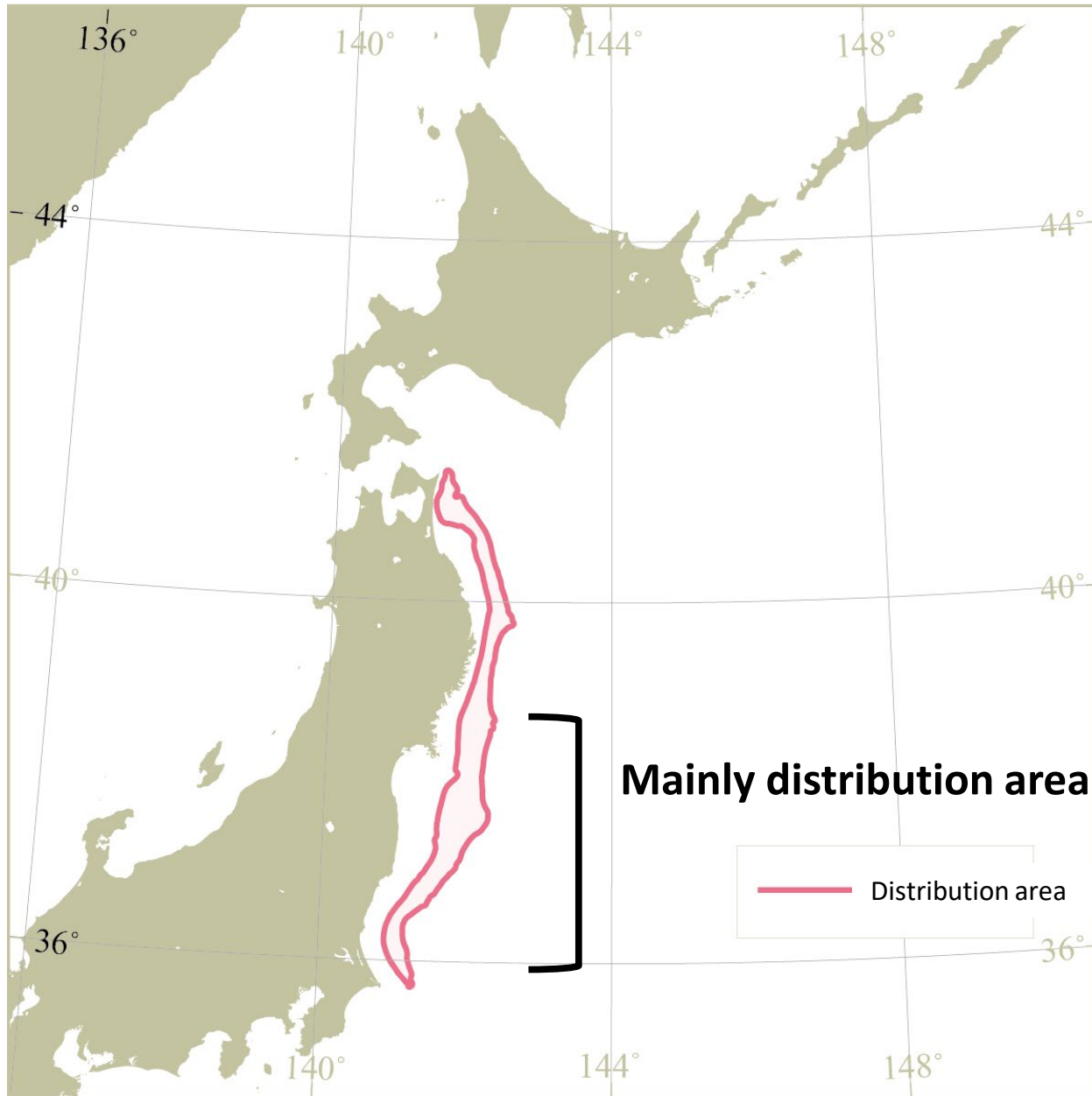


ズワイガニ太平洋北部系群

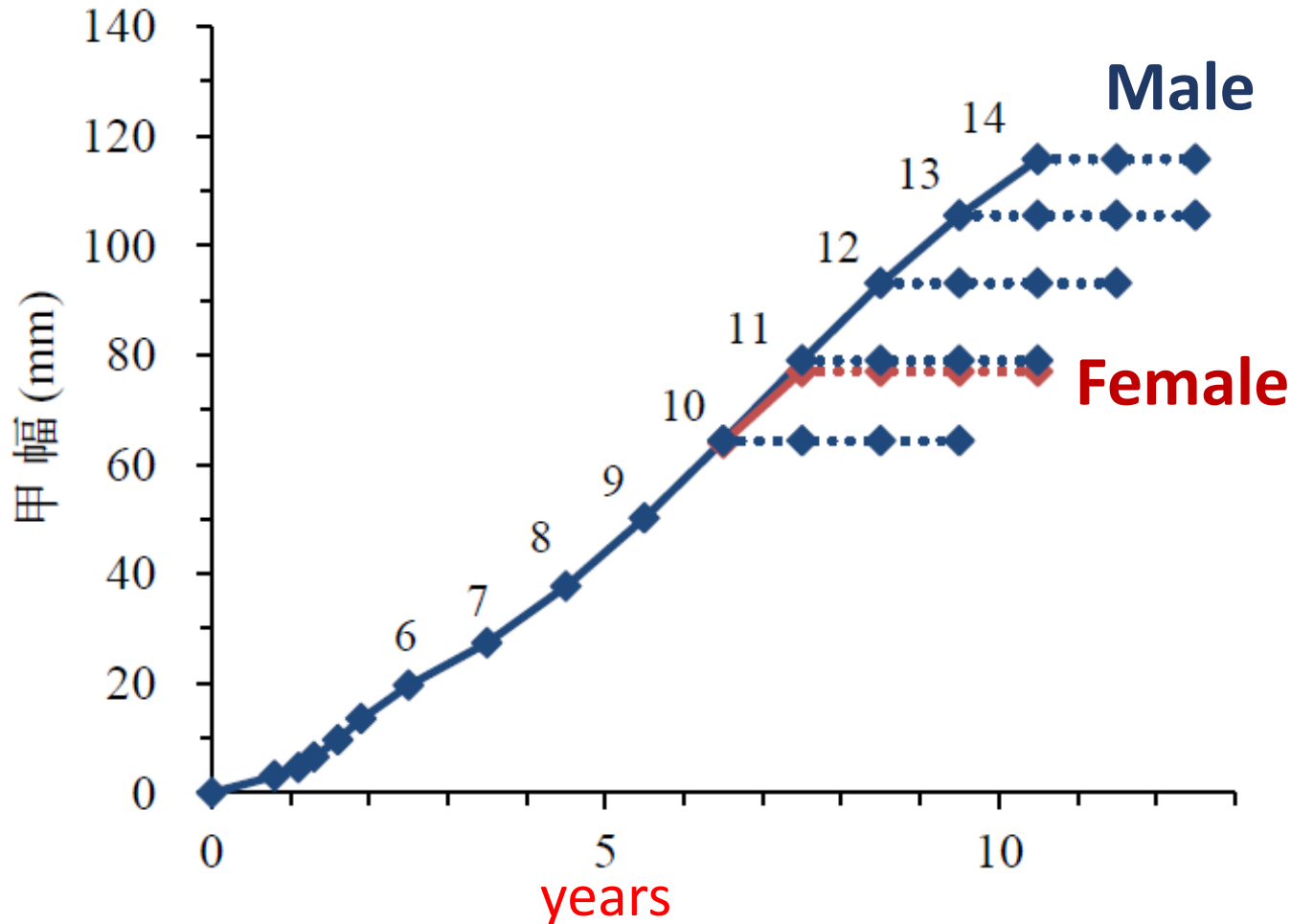




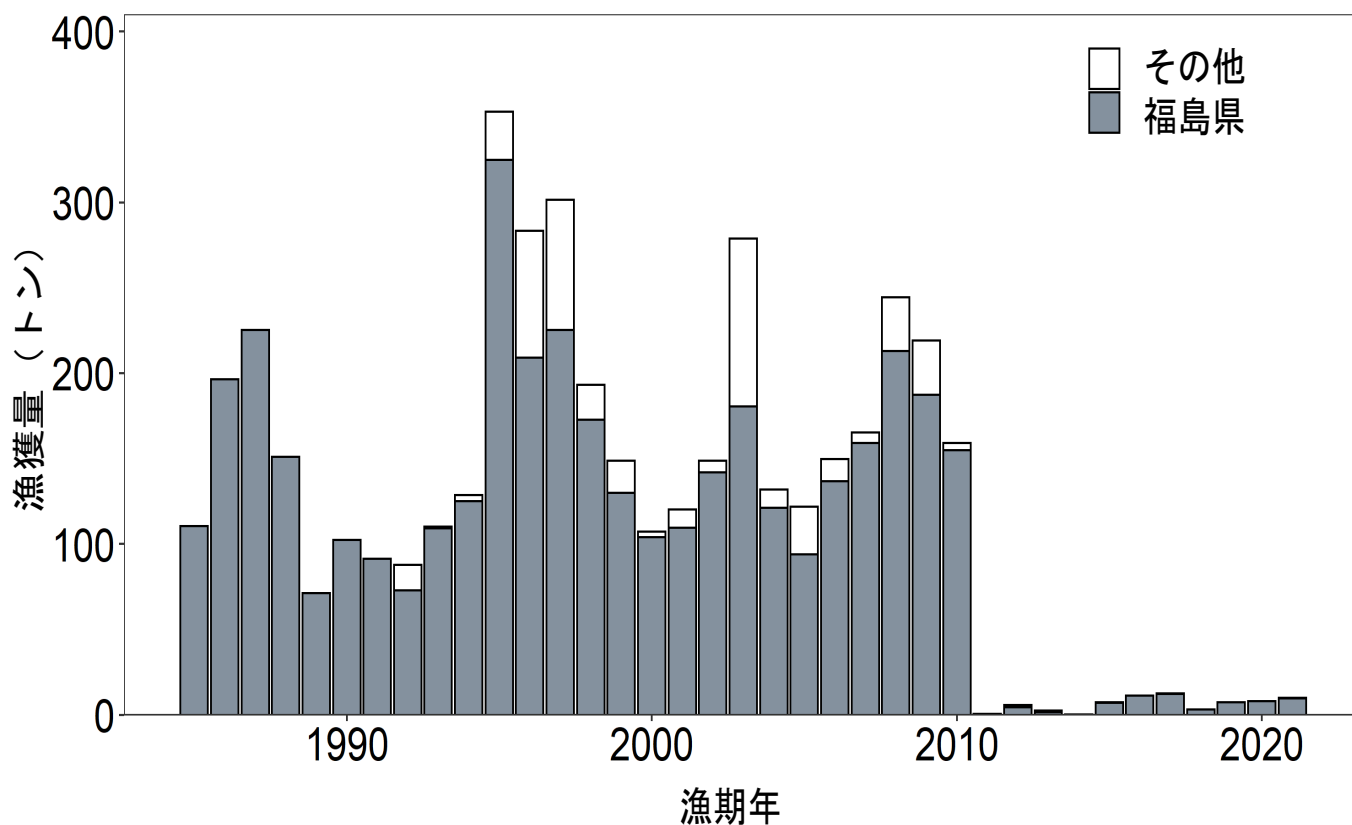
分布水深は150～750 mで、他の海域よりも深い

雄は甲幅80 mm以上、雌は成熟雌が漁獲対象

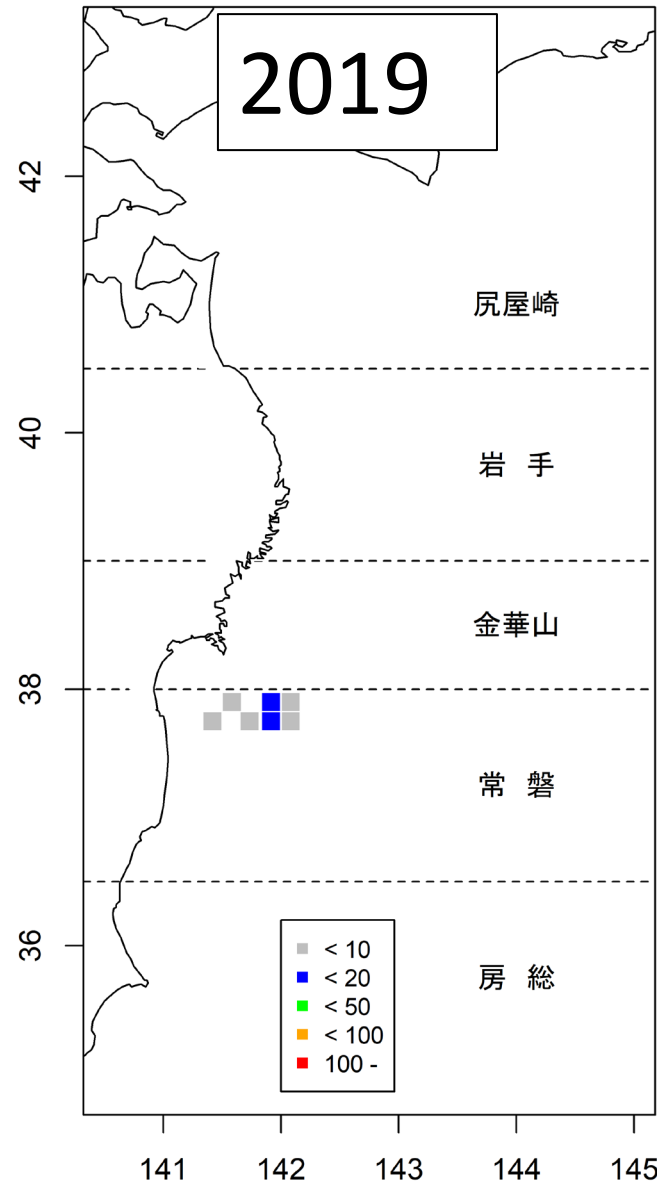
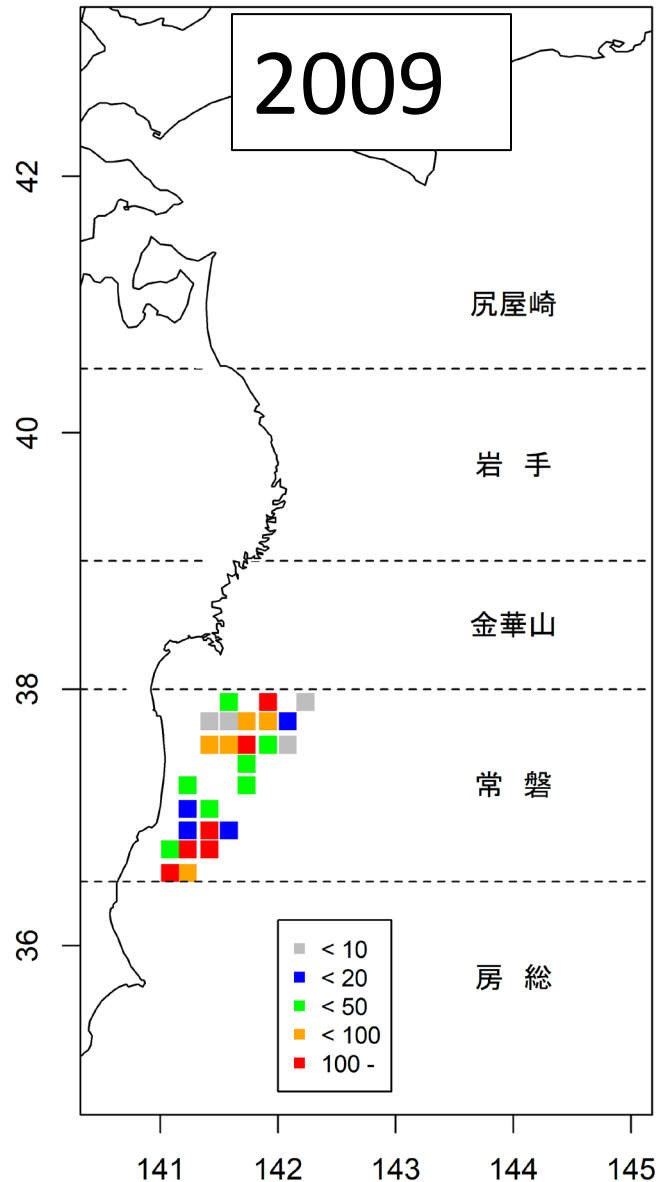
成長すると深い所へ移動すると推測されているが、詳細は不明



- ・ 成長は、日本海系群と同様
- ・ 甲幅20 mm程度（6齡期未滿）までは1年間に複数回の脱皮
- ・ 以降は最終脱皮まで毎年1回脱皮
- ・ 加入齡期、8齡期には5年で達する
- ・ 9齡期までは雌雄に差はない
- ・ 雄では10齡期以降で最終脱皮をする個体（つまり、成熟してそれ以上は成長しない個体）が出現
- ・ 14齡期に達した個体は全て最終脱皮個体
- ・ 雌では、すべての個体が10齡期から11齡期になる際に最終脱皮して成熟



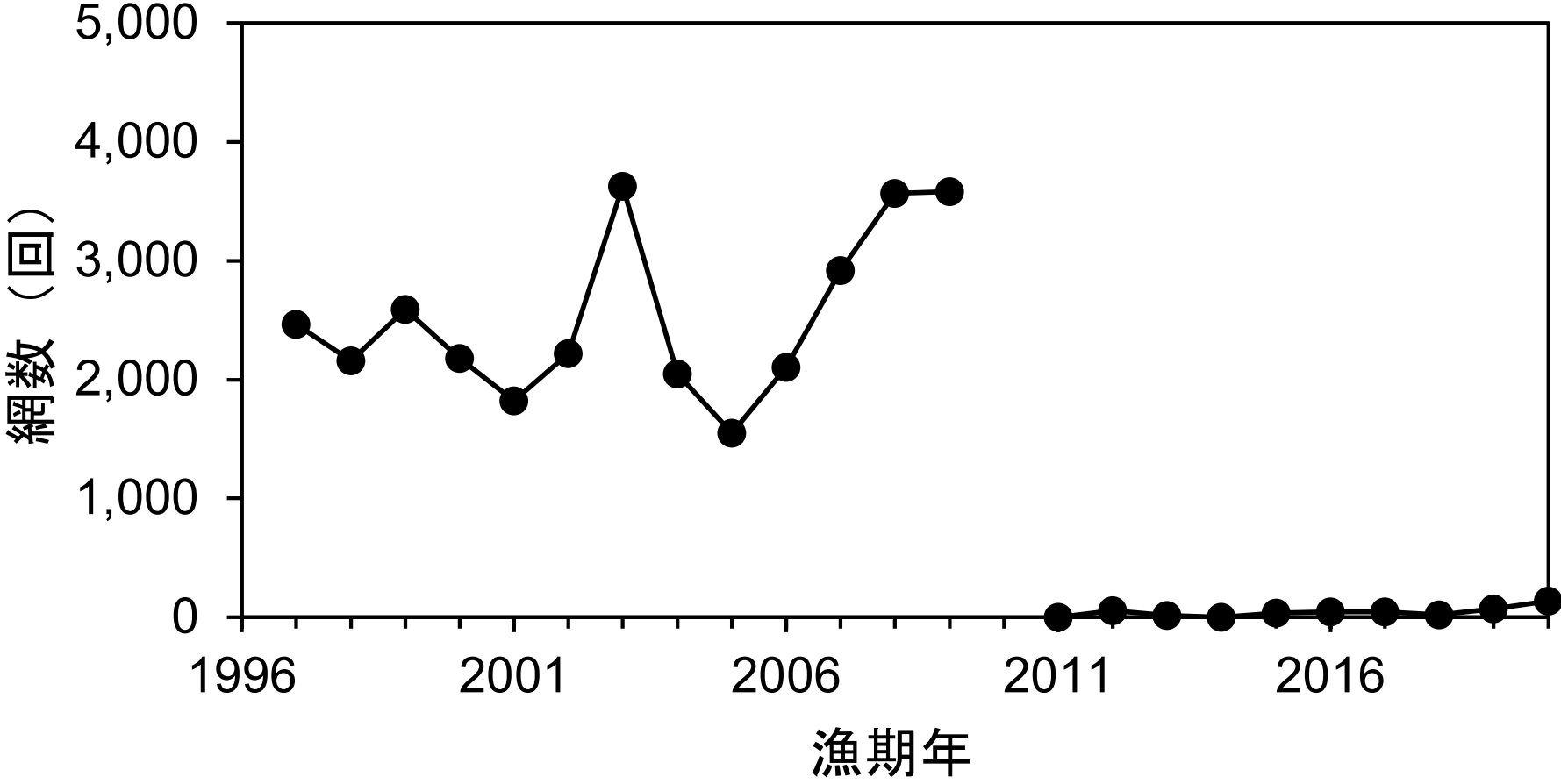
- 本系群は主に福島県の沖合底びき網漁業によって漁獲
- 東日本大震災の原子力発電所の事故により、2011年以降、漁獲量が大きく減少
- 実際の漁期は12月10日から翌年3月31日
- 雄は甲幅80 mm未満、雌は未成熟ガニの水揚げ制限



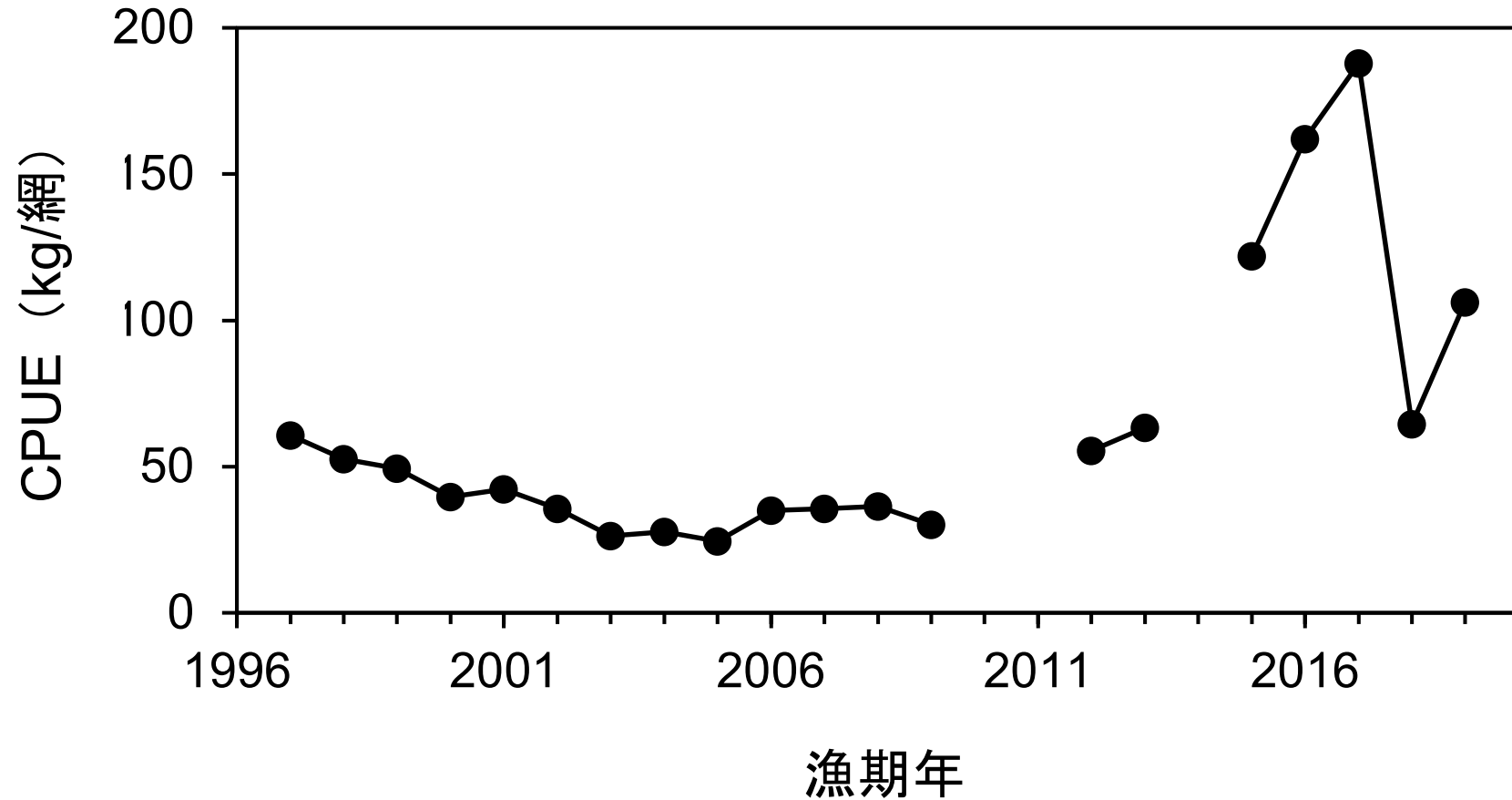
漁場分布図 (漁獲量)

沖合底引き網漁業の漁区別漁獲量1
漁区は緯度・経度10分の範囲

震災後は漁場が大きく縮小

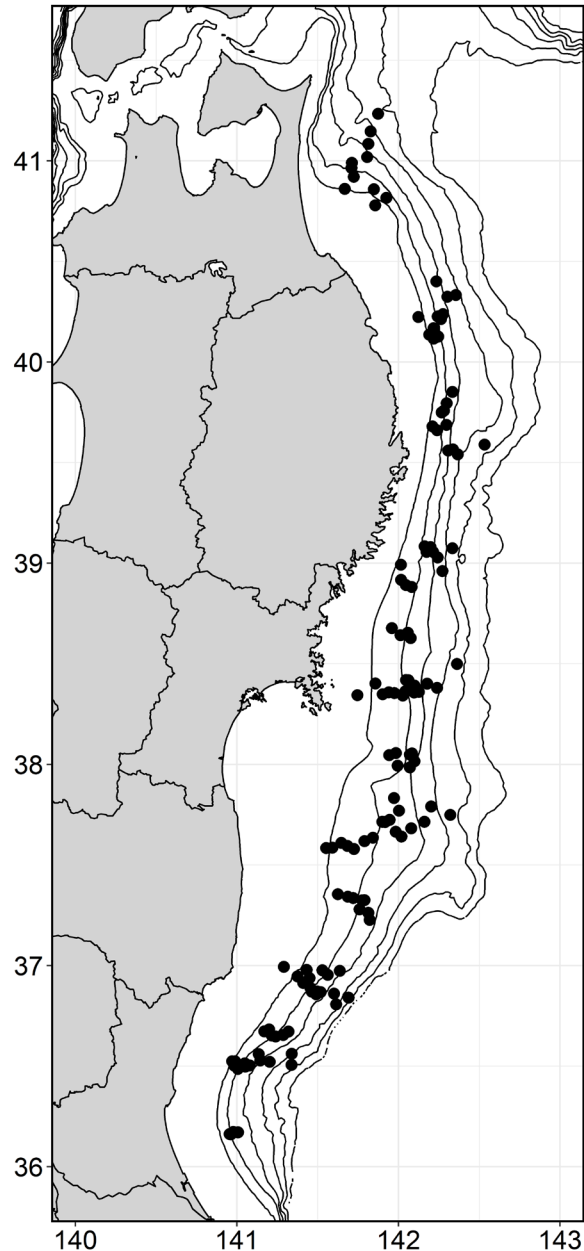


漁獲努力量：福島県所属の沖合底びき網漁業によるズワイガニの有漁獲網数
震災以前はおよそ2000～3500網、震災以降は大きく減少



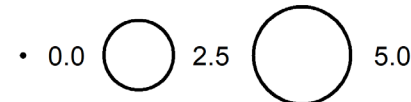
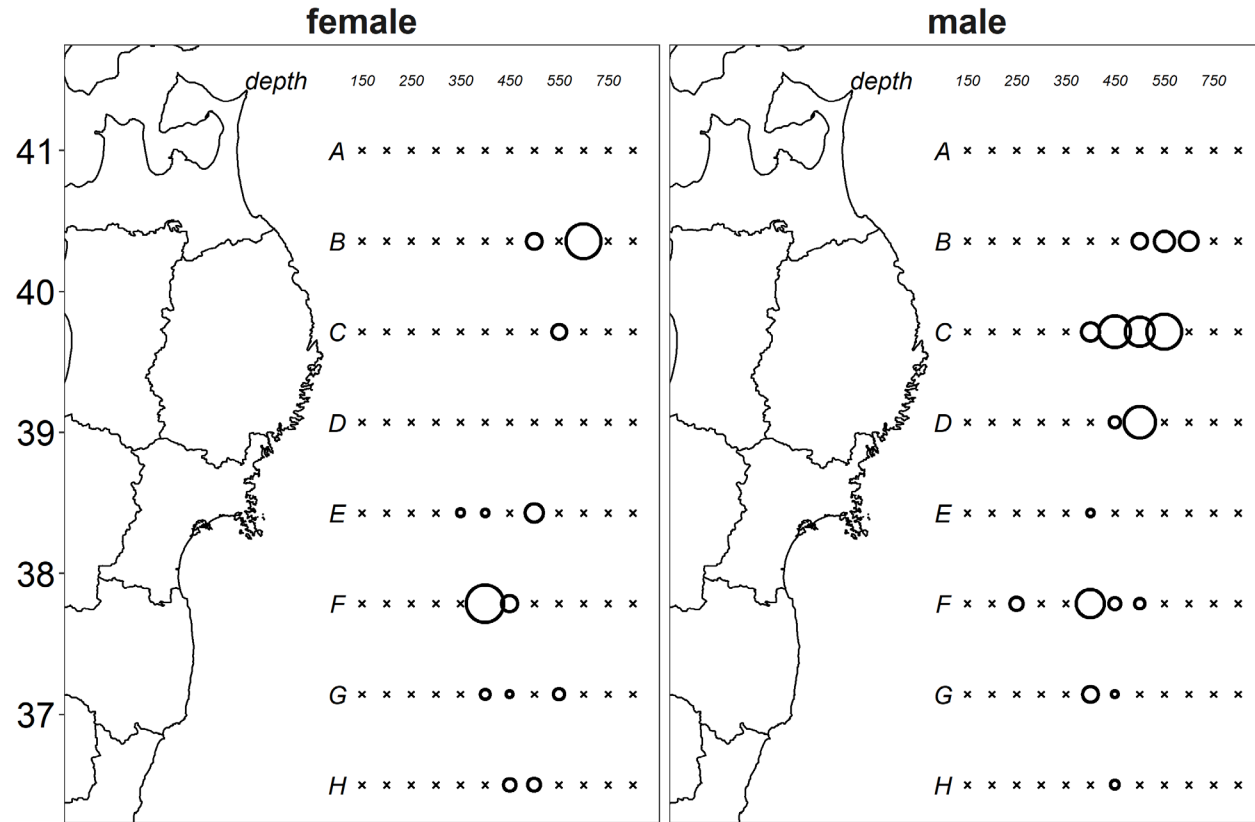
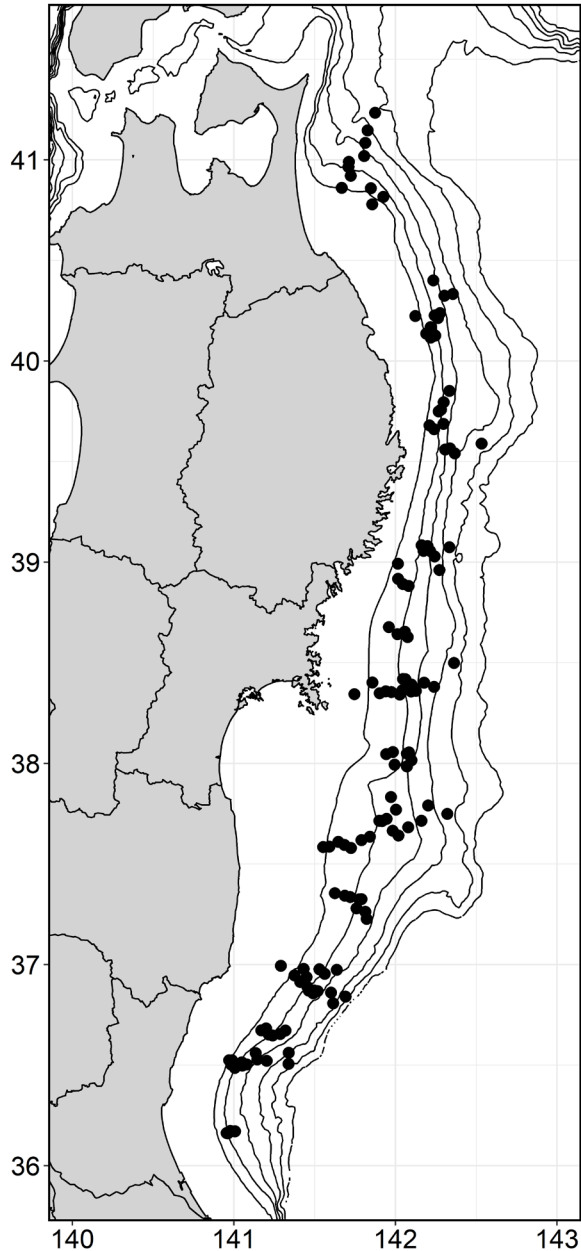
CPUE: 有漁網1網あたりの漁獲量

震災後は有漁獲網数が大きく減少したため、資源状況を把握するのが困難

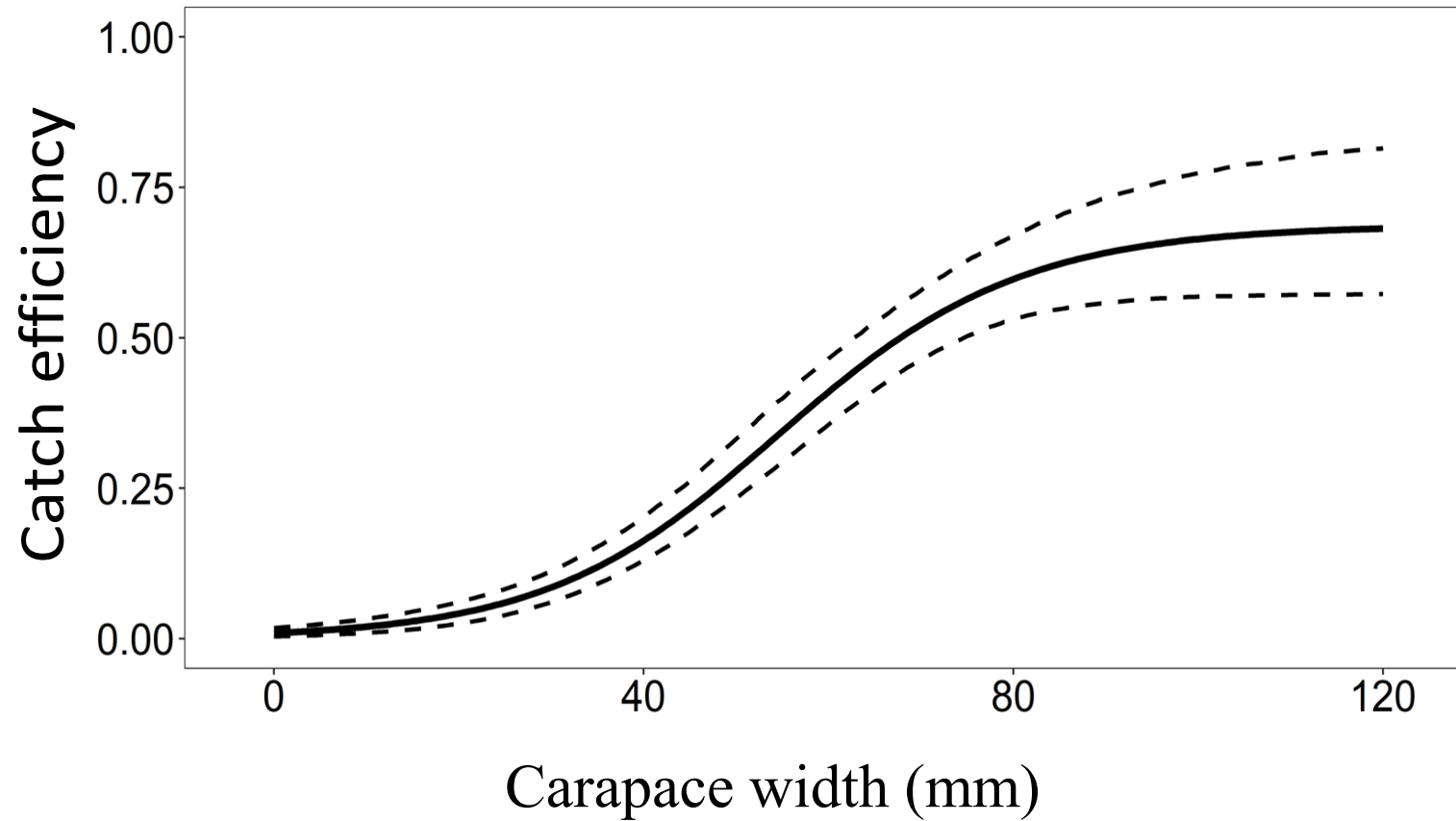


資源状況は調査船調査で把握

- 着底トロール調査は1997年以降、毎年9月～11月に調査点を設けて実施
- 調査点は水深150～900m、本系群の主漁場付近では水深300～500mのに調査点数をより密に配置

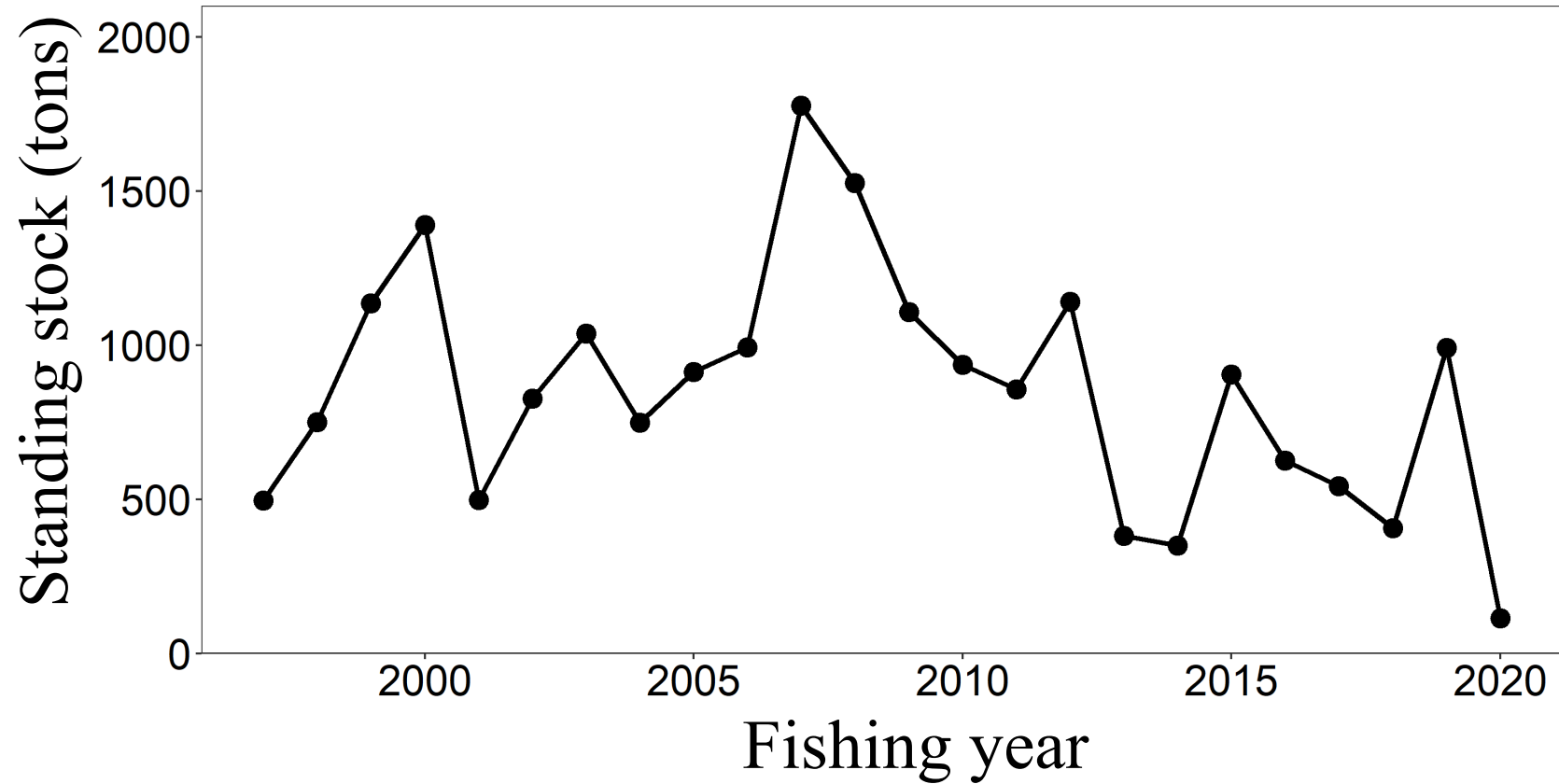


- 2020年は計153地点で調査を実施
- 88地点で採集
- 面積密度法（48層）で現存量推定



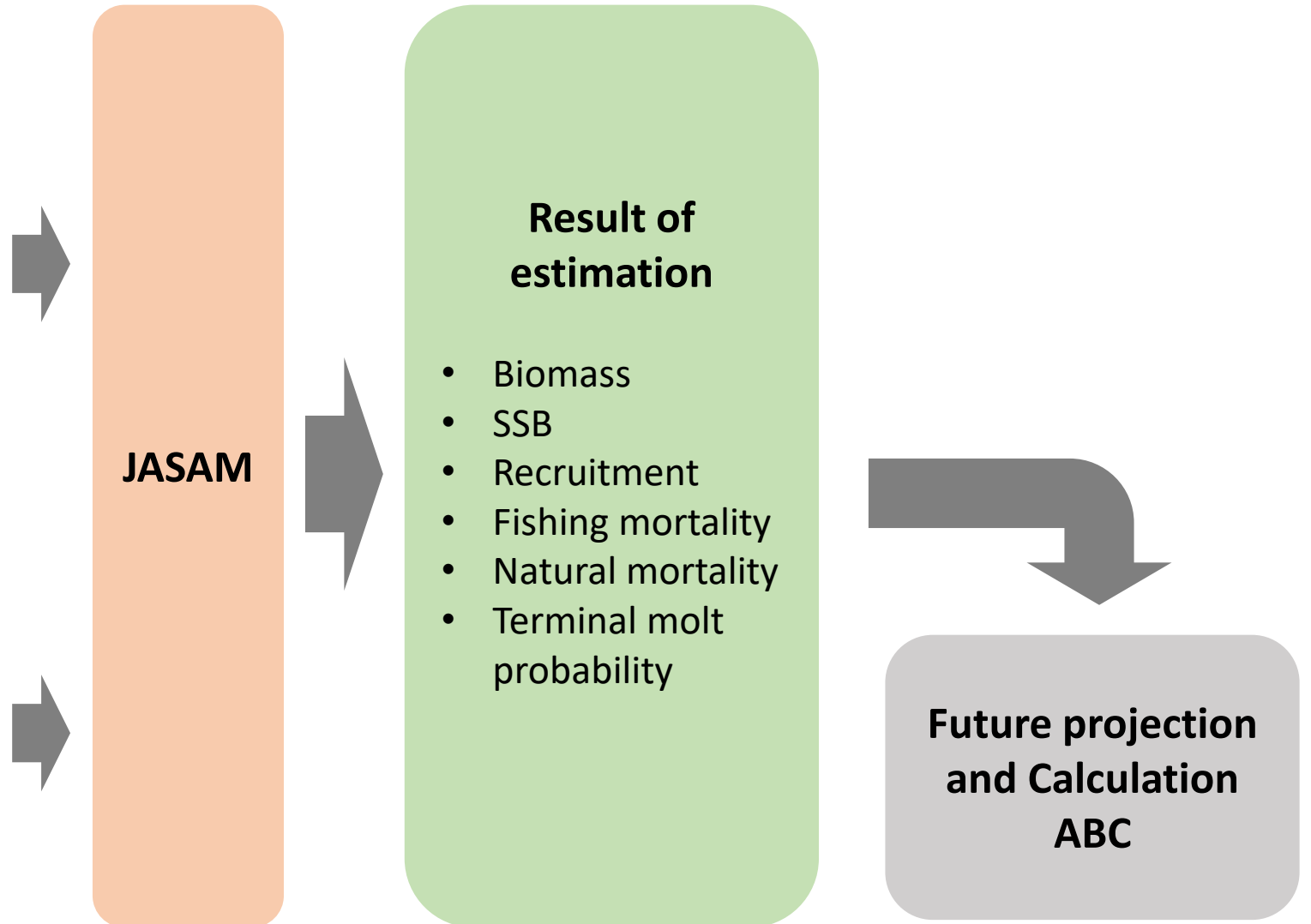
採集効率（サイズ依存）を用いて定量化

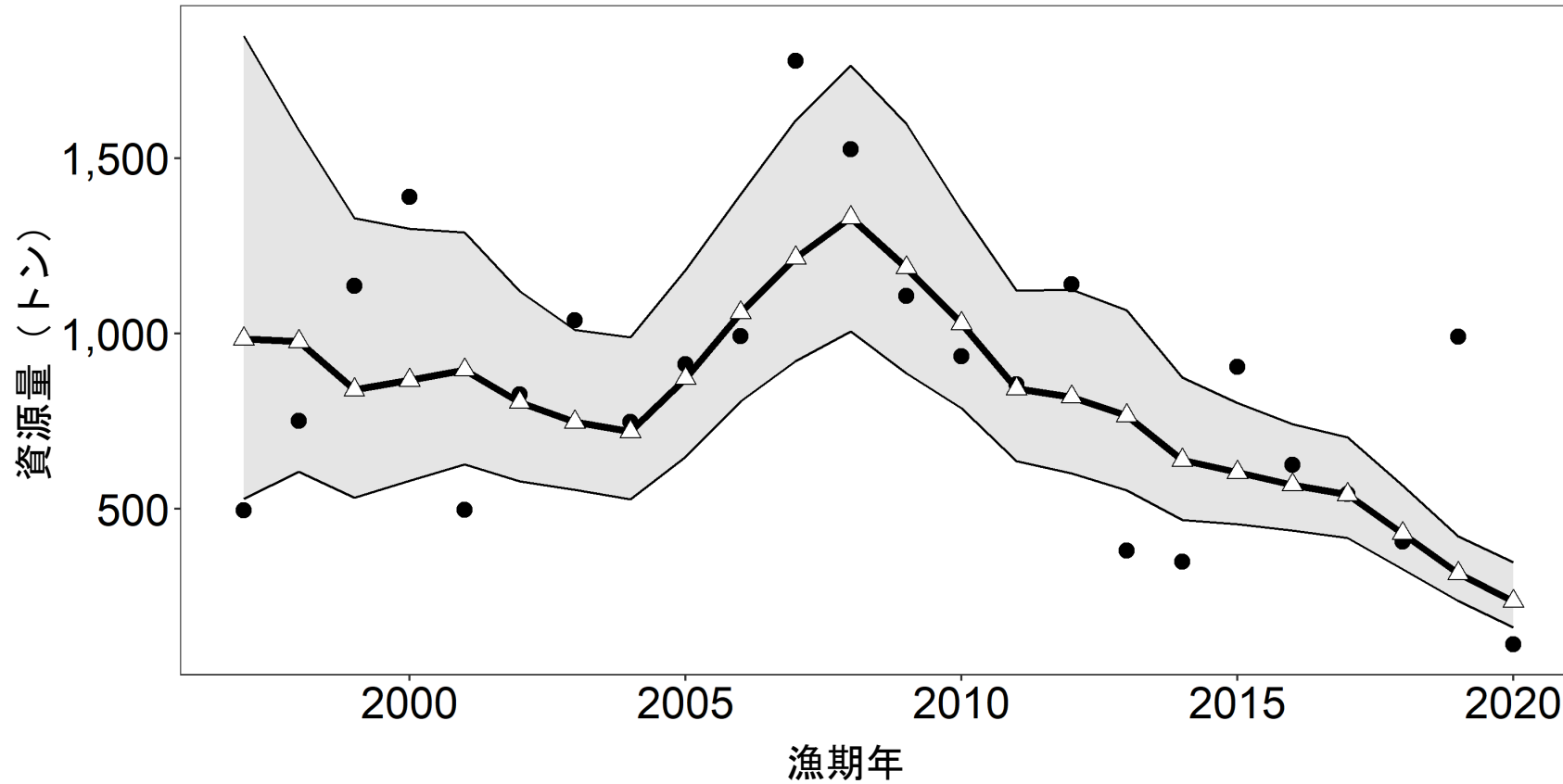
小型のズワイガニほど採集効率が低下、より大きい係数を掛けて現存量推定



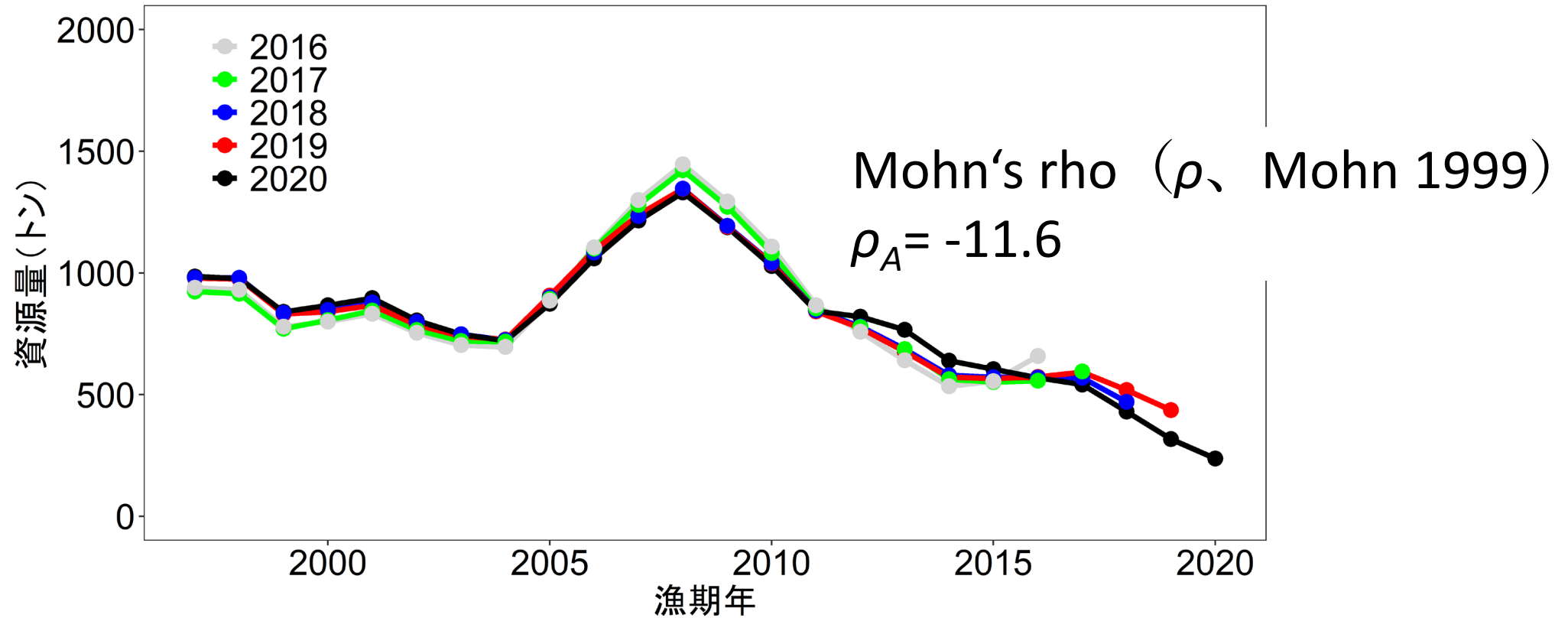
1997年（496トン）から2007年（1,777トン）までは増加傾向
その後は減少傾向、2020年には1997年の調査開始以降最低の114トン

- JASAM, “just another state-space stock assessment model” (Shibata et al. 2021)を用いて資源量推定
- 資源量に加えて自然死亡と最終脱皮率も合わせて推定

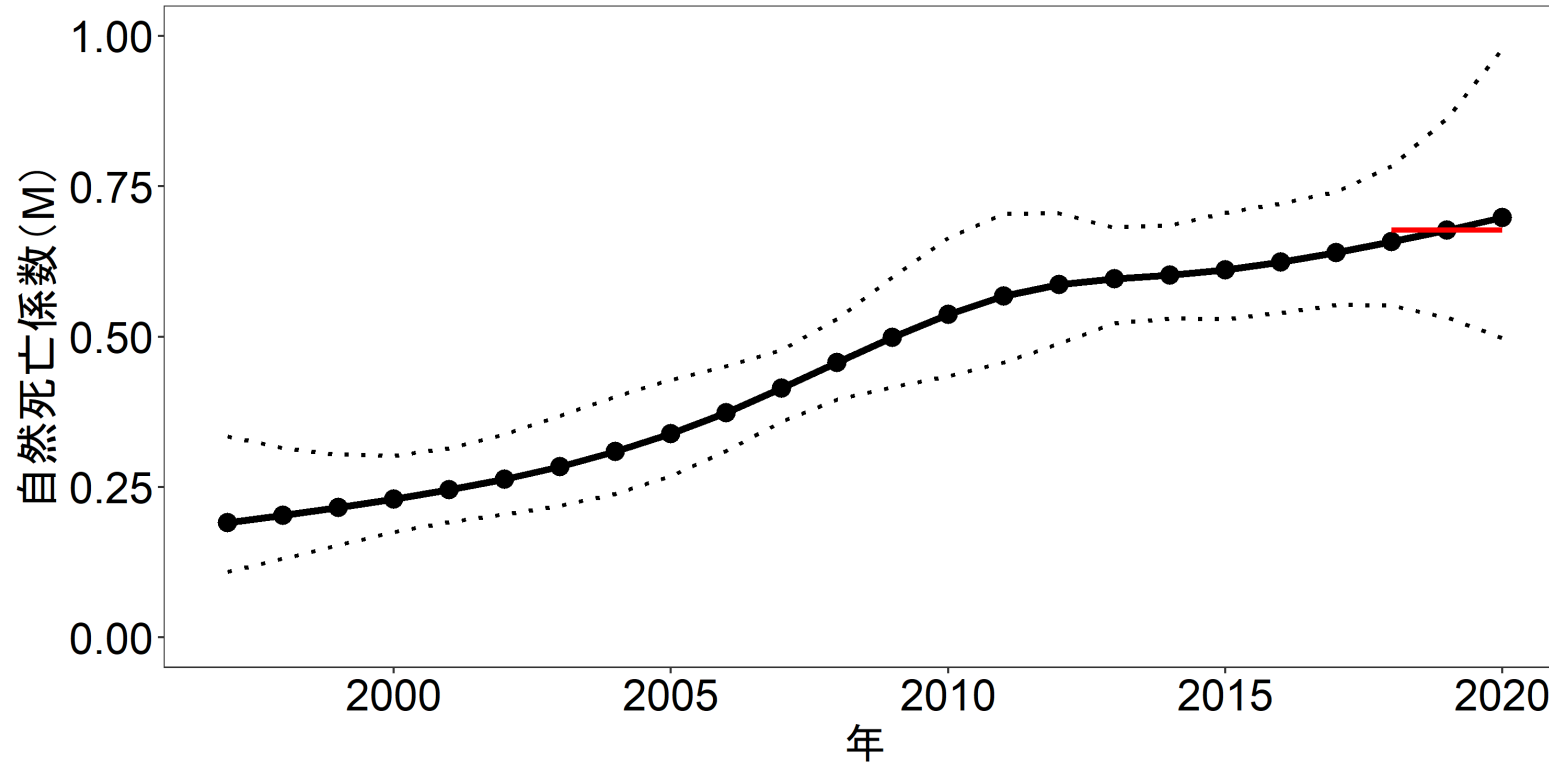




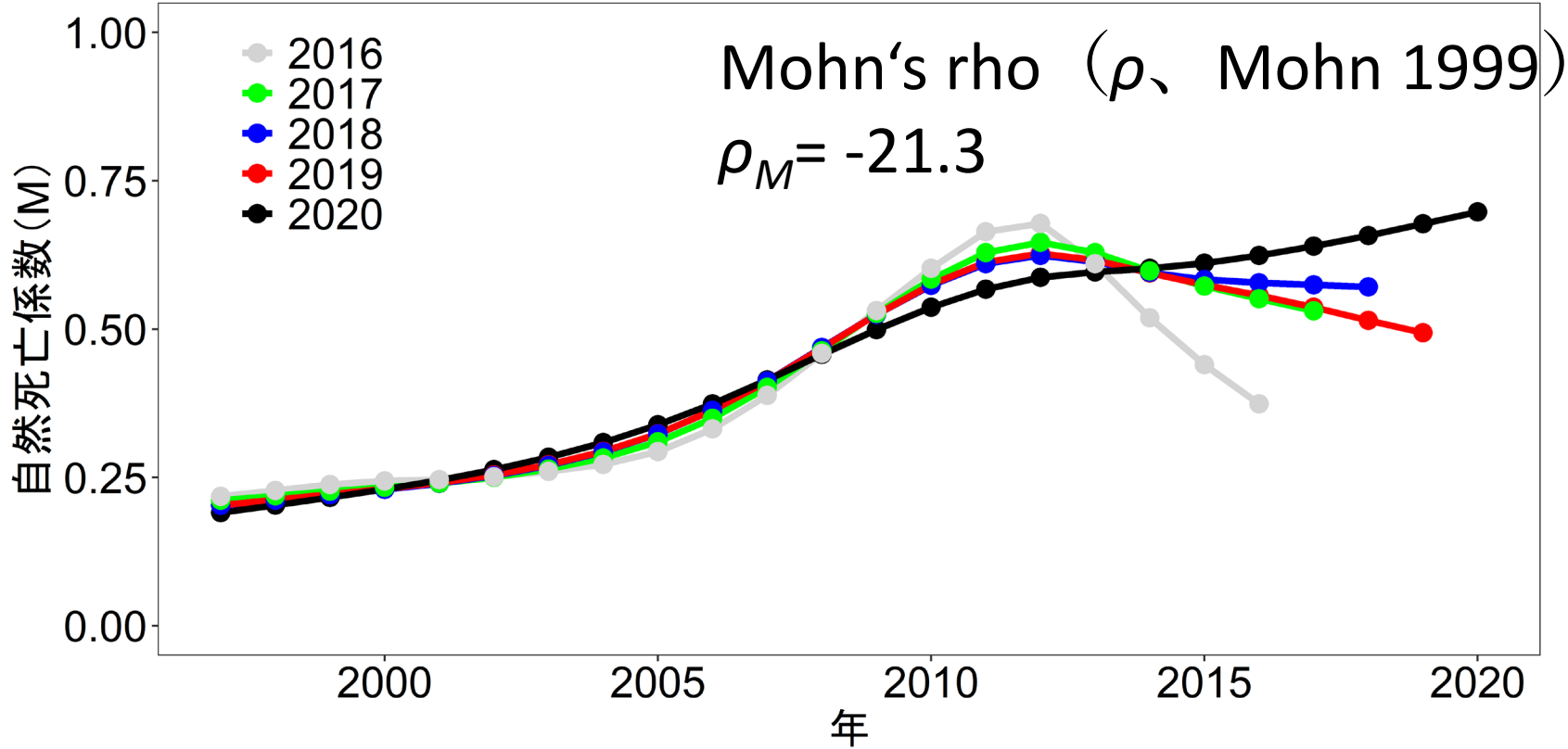
2009年以降は減少傾向。2020年漁期は237トンと過去最低の資源量と推定
 * グレーの範囲は95%の信頼区間



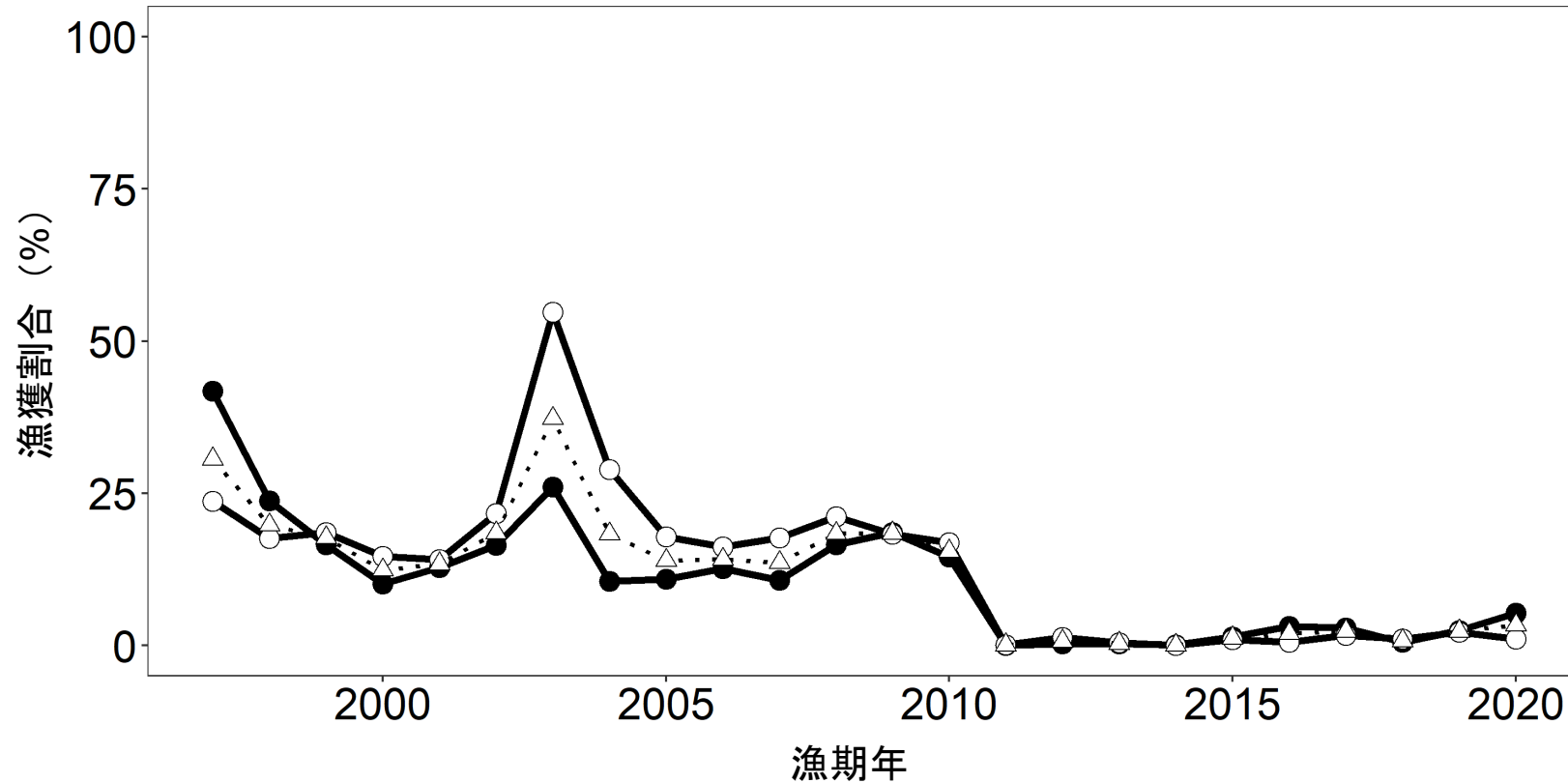
レトロスペクティブバイアスの指標、資源量の $\rho_A = -11.6\%$
 データの追加による過去の推定結果への影響は小さい



JASAMで推定された自然死亡係数 (M) の経年変化
1997年は $M=0.191$ 、2020年は $M=0.698$ 、直近3年間の平均値は $M=0.677$



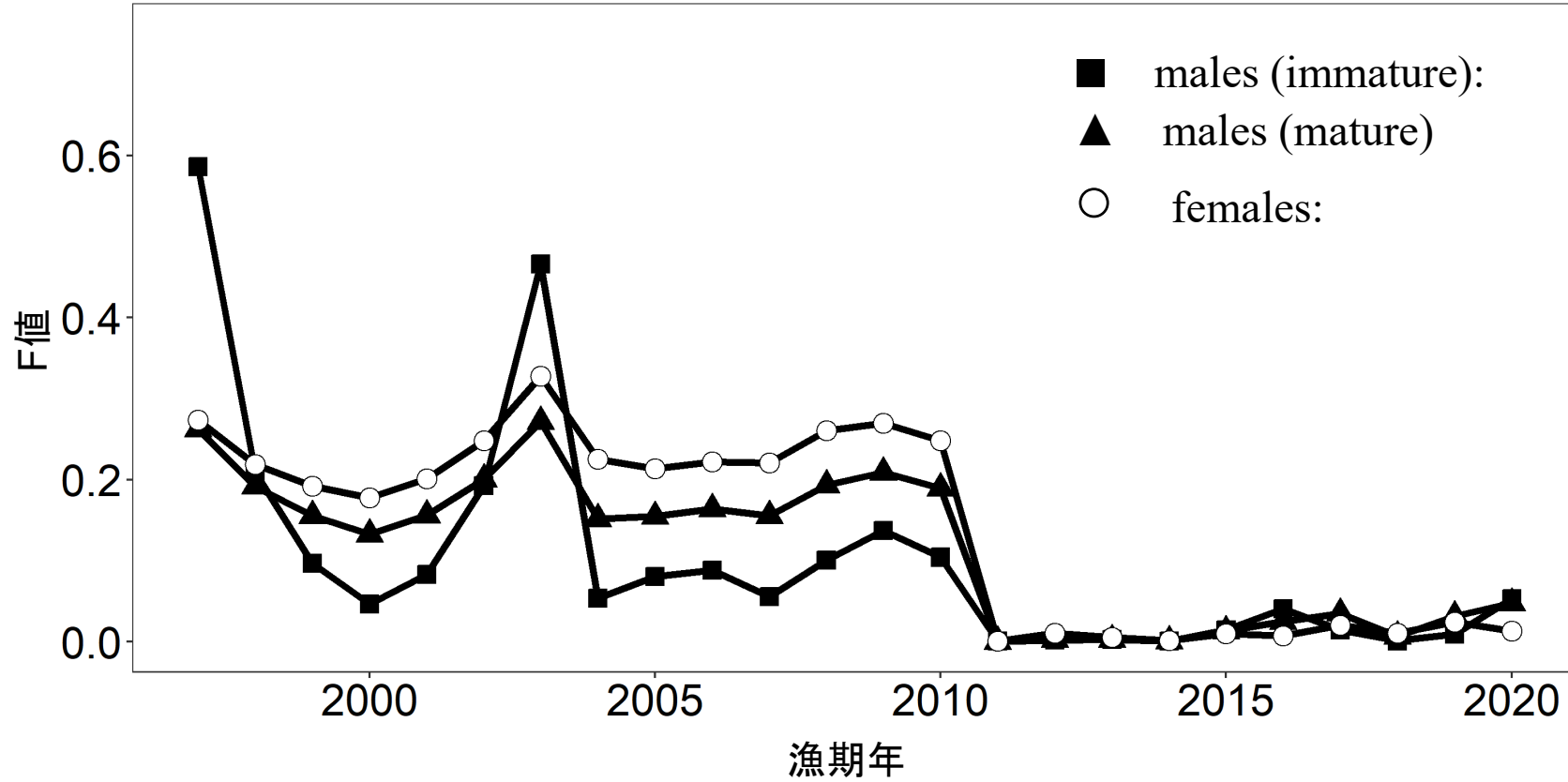
レトロスペクティブバイアスの指標、資源量の $\rho_M = -21.3\%$



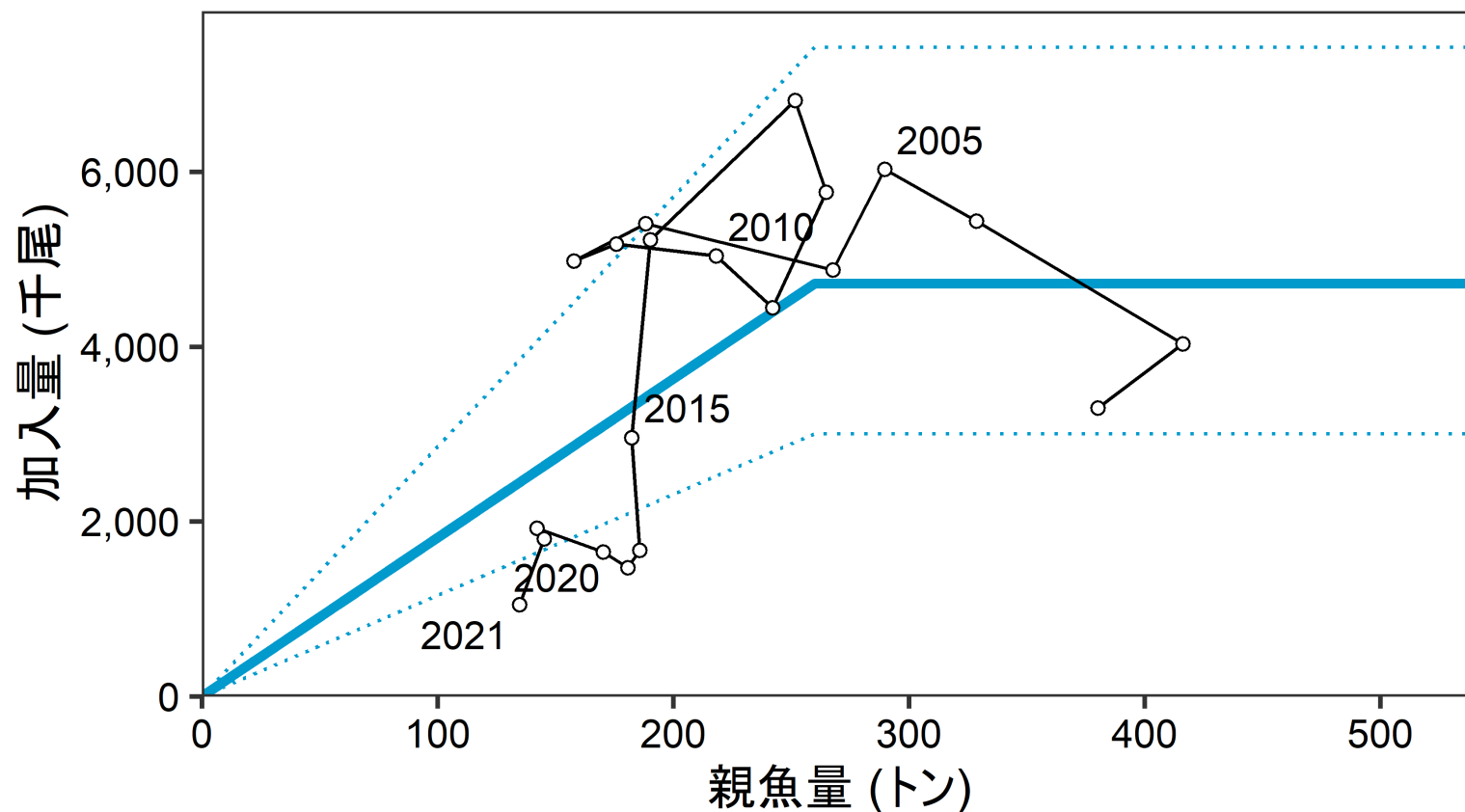
雌雄合計の漁獲割合は2010年まで12.4~37.3%。

震災の影響による操業停止で2011年の漁獲割合は0.1%

2012年漁期以降の漁獲割合は0.1~3.3% (2020年漁期は3.3%)。

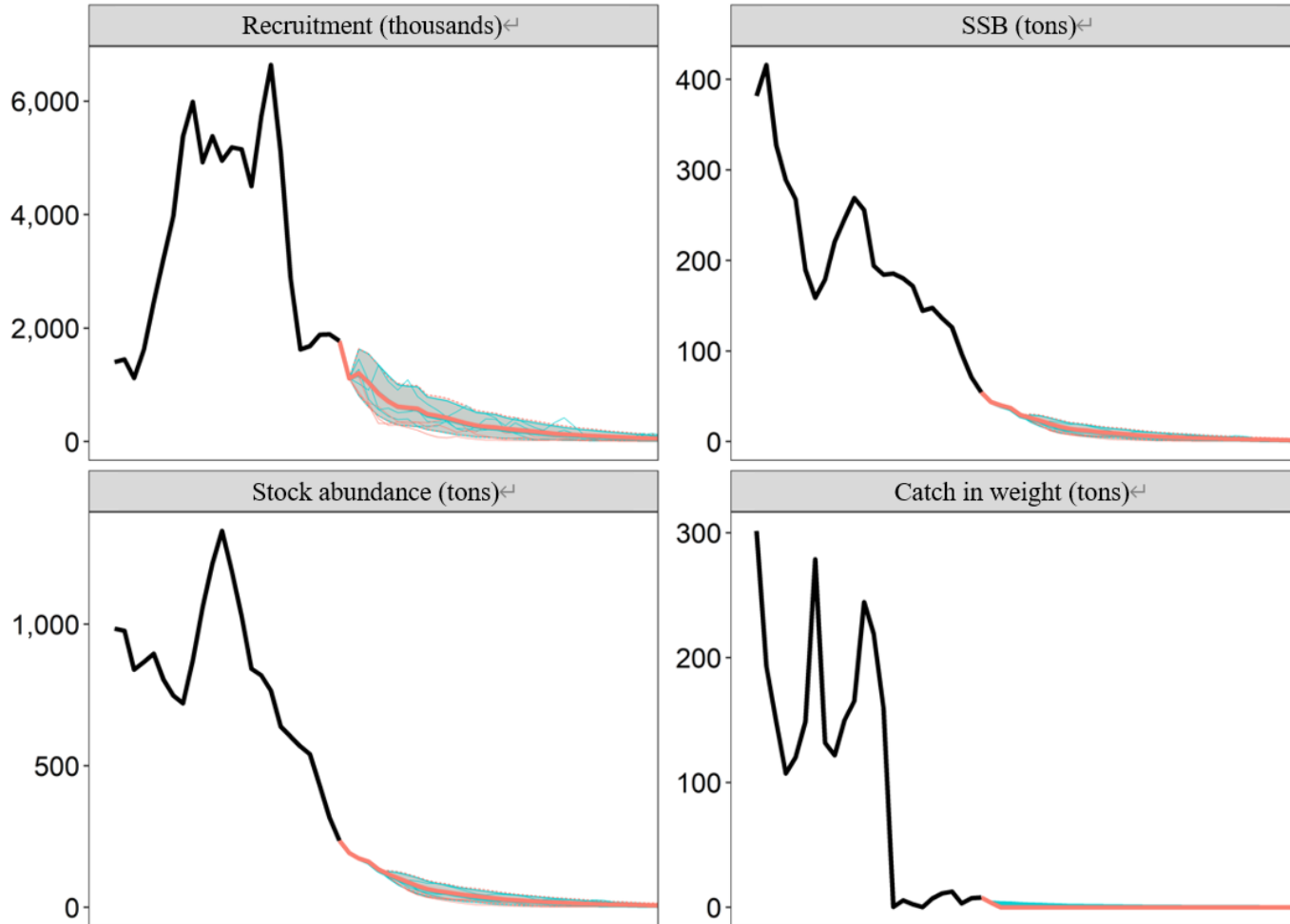


2012年漁期以降の漁獲係数 (F) は0.001~0.034



JASAMで推定された親魚量（SSB）と加入尾数の関係

* 親魚量は雌の成熟個体（11齢期）の漁期後資源量、加入量は5年後の8齢期の資源尾数
生産関係はホッケー・スティック型、加入量の残差には自己相関を考慮



— $F=0$

— $F=\text{average (2018-2020)}$

- 推定した再生産関係と、近年の自然死亡係数 (0.677) を用いて将来予測
- 資源量は漁獲がなくても減少
2032年の親魚量の予測値は平均11トン
80%予測区間は5.5~17.3トン
- 現状の漁獲圧 (2018~2020年の平均) で漁獲した場合も資源量は減少
2032年の親魚量の予測値は平均10トン
80%予測区間は5.3~16.2トン

Q1—1：漁獲年は7月～翌6月、漁期は12月～翌3月と書かれているが、漁期の漁獲量の該当漁獲年に占める割合はどのくらいか？また、この割合の年変動は大きいのか？

ほぼ全てこの期間に漁獲される。

O1—2.(5)：Mの推定の方法や妥当性に疑問を感じる。Shibata et al (2021)の式(4)の事前分布はどこから導かれたのか？また、従来使用(固定)していたMなどは存在しないのか？存在する場合には、そのようなMの値を利用した感度解析も行うべきであろう。

最終脱皮2年経過で殻が固くなるので、Mの値が減少するというこれまでの生物学的な知見を模したものの。実際はモデル選択の結果この変数は落ちているので、2年経過してもMに変化はない。

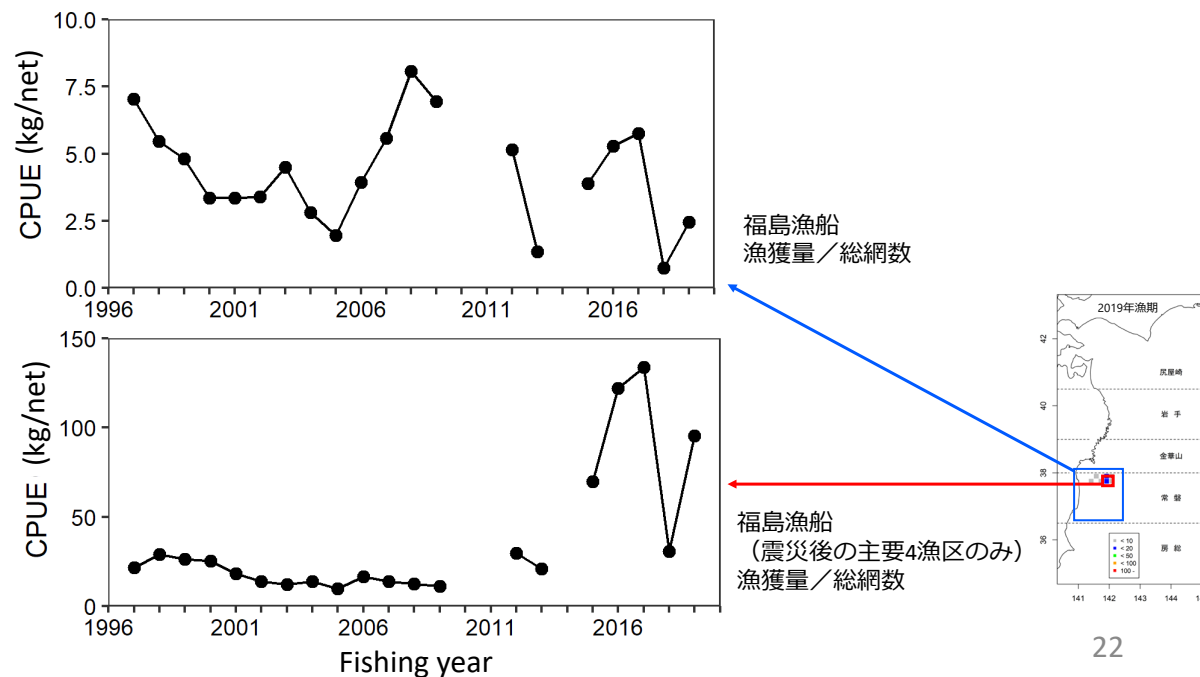
従来使用していたMは日本海と同様である。しかし、その値を利用した場合、近年の資源動態が再現できない。そのため、Mを個別に推定することとした。

従来のMを用いた場合、現状のFでは資源は増加傾向となるが、当然過大推定であり、資源評価・管理上、好ましくない。

Q2—4.(1)-(2) : (1)では「着底トロール調査から得た面積密度法による現存量を資源量指標値に用い…」と書かれているが、(2)では沖底漁積から得た CPUE について論じている。後者の CPUE は資源評価に用いていないのか？また、標準化は行っていないのか？

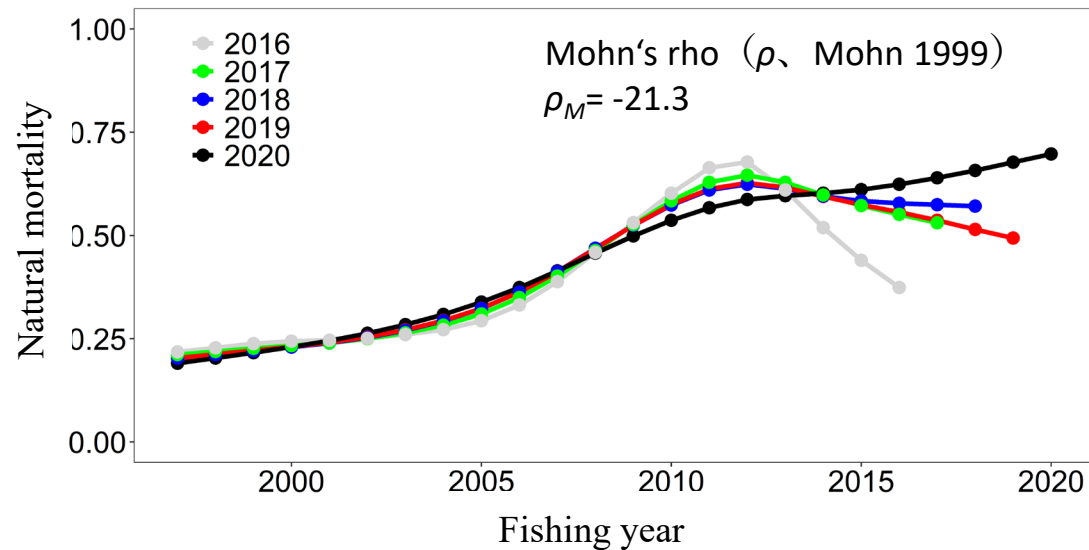
震災以降、本種への漁獲努力量は大きく減少し、漁場も非常に限られた海域のみとなっている。そのため、資源漁の指標値に用いるのは困難と判断している。

しかしながら、漁業情報も資源評価を行う際に重要な情報となるので、今後CPUEの標準化も検討していきたい。

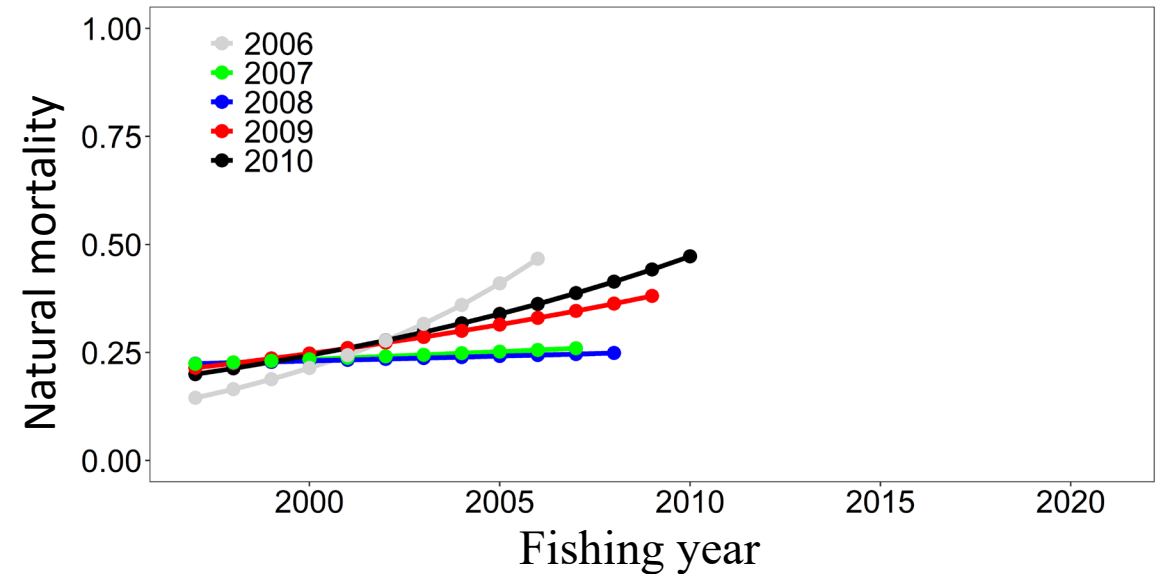


C1-4.(3) : 震災以降、実質的モラトリアムになっていることを考慮すると（現状では $Z \doteq M$ となっている）、一例だが M の値などを含むレトロスペクティブ解析は 2011 年から 2012 年を基準として、そこから 1 年ずつ減らしていく方法もあるのではないだろうか。1997 年から 2020 年にかけて M が 3.5 倍にも上昇しているというのは、現実的なのか。

Natural mortality (M)



56



Q2—4.(5) : 再生産曲線としてホッケー・スティック型を使用しているが、その根拠は何か？ Beverton-Holt や Ricker、直線式なども適用して、比較してみてはいかがか。

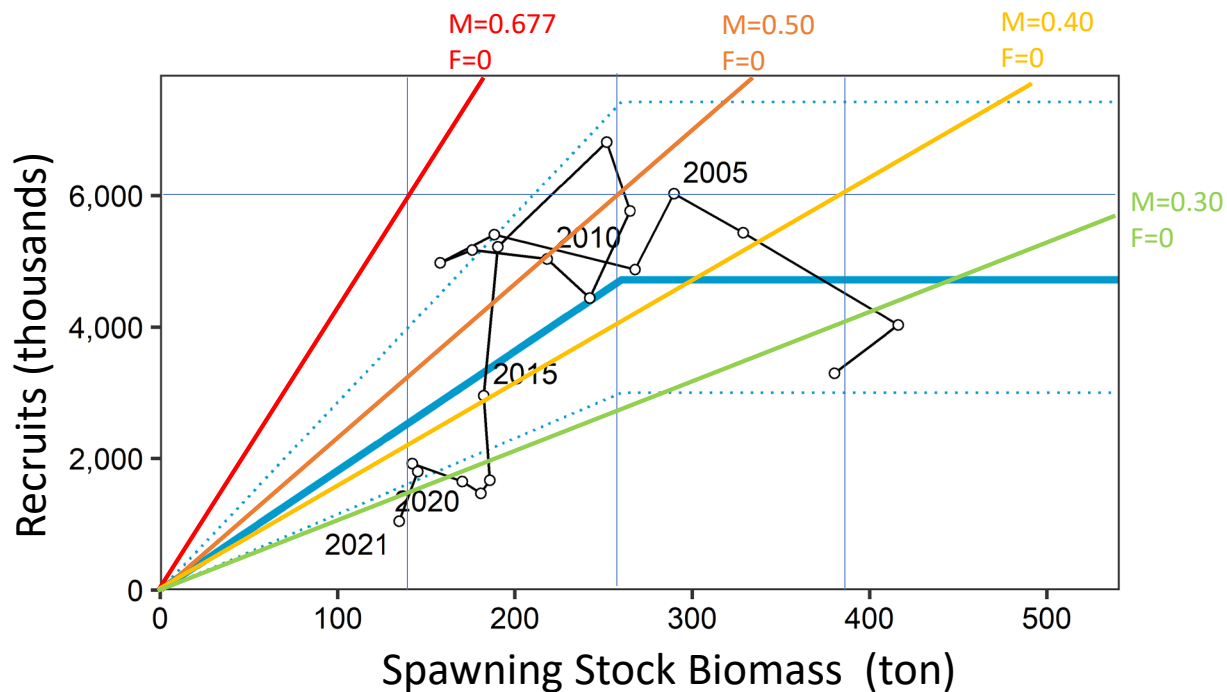
BH, RI型も検討した結果、最もあてはまりの良かったモデルとしてHS型を選択している。
詳しい検討過程は研究機関議資料として公表している。

Q3—4.(5) : 「加入までのプロセスが不明…」とあるが、これは加入年齢が分からないので5歳と仮定しているという理解でよろしいか？ 私の認識が正しい場合は、5歳にした根拠は何か？ また、再生産式の自己相関係数 ρ は AR(1)モデルを用いて推定したのか？

加入年齢に加えて、幼生の輸送過程等についても知見が乏しい。
加入年齢は日本海と同様に5歳とした。

再生産関係式の自己相関は全年の残差との相関。
同時推定である（他の魚種と同様の推定方法）。

Q4—5.(4) : 「…漁獲を 0 とした場合においても (今後の) 資源量は減少し続け…」とあるが、これは今後も M の推定値が増加し続けるのが主な原因、と考えるよろしいか？
 ホッケー・スティック型の再生産曲線を B-H や直線式に変更した場合はどうなるか？
 もっとも、その場合には推定方法を最小二乗法から最尤法へ切り替えた方が良いと思う。



現状の M (過去3年平均 = 0.633) を用いた場合である。

他の再生産関係でも現状の F と M をもとにした SPR よりも保証効果が高ければ、どこかで資源が安定することになるが、それでも非常に低い水準になるとと思われる。

最小二乗誤差が最尤推定になるとは思われますが他に想定される誤差構造はありますか

Q5—図 2.2 : 3 歳まで半年に 1 回、その後は 10 歳まで 1 年に 1 回脱皮すると仮定しているが、寿命は定めていないのか？また、最終脱皮の時期は資源評価に影響するのか？

寿命は10年以降と考えられている。

最終脱皮後は成長しないので、雄の採集脱皮の齢期が早いとそれだけ体サイズが小型になり、資源評価にも影響する。なお近年、最終脱皮の齢期は早くなる傾向にある。

Q6—図 4-1 : これは、着底トロール調査のデータだけから面積密度法用いて推定しているのか？この認識が正しい場合、図 4.1 と図 4.3 の違いは何が原因で生じているのか？

図4-1は着底トロール調査の現存量推定結果である。

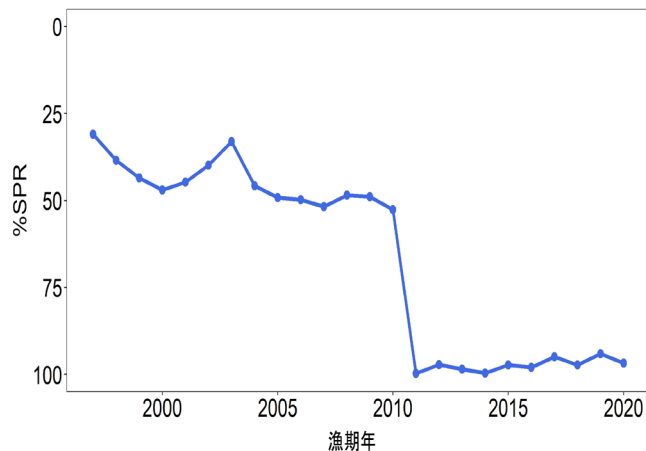
さらに、本系群では着底トロールの現存量推定結果を基に資源動態モデル（JASAM）で観測誤差も考慮した現存量推定を行っている（図4-3）。

定量化にあたってはJASAMのほうで行っている。

C2—図 4-8：漁獲係数を意味する F を F 値と表記すると、統計学上の F 値と混同する可能性があるため、記述を変更すべきであろう。図 4.10 などについても同様である。

本系群ばかりではないので、他の視点での問題点も含めて今後検討したい。

C3—図 4-11：%SPR の値は震災が起こった 2011 年からすぐに 100%に近づいているが、加入が 5 歳、すなわち加入までのタイムラグが 5 年と仮定していることを考慮すると、いささか不自然であり、数年ないし 5 年程度の遅れが生じるのではないだろうか。



%SPRは漁獲圧の指標なので、加入のタイムラグは関係ないと思われる。

図は2011年以降、大きくFが低下し、漁獲がない場合と同様の親魚の生残であることを示している。

C4—図 5-1. : 現状のモラトリアムが今後も続くのでなければ、F2018-2020 に基づく将来予測に加えて、震災前の F に基づく予測をオプションに加えた方が良いのではないか。

資源が回復した際に検討したい。

現状では、漁獲がなくても資源が減少する状況にあるので、震災前の F に基づく将来予測はあまり意味が無いと思われる。

Q7—補足資料 2.式(3) : 誤差項は $\varepsilon_{k,t} \sim i.i.d. \sim Normal(0, \sigma^2)$ という理解でよろしいか？

そうではありません。

Shibata et al., 2021の式6-7のほうが正しいが、多変量正規分布に従うようになっている。

ここは元々のSAMと同じ部分である。

$$\varepsilon_{k,t} \sim \text{MVN}\left(0, \Sigma_{F,t}\right), \quad (6)$$

where ε follows a MVN distribution, and its variance-covariance matrix $\Sigma_{F,t}$ is shown as:

$$\Sigma_{F,t} = \begin{bmatrix} \rho_{k,t} \sigma_{k,t}^F \sigma_{\tilde{k},t}^F \\ \vdots \\ \vdots \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} (\sigma_{k=1,t}^F)^2 & & \\ \rho_{1,t} \sigma_{k=1,t}^F \sigma_{k=2,t}^F & (\sigma_{k=2,t}^F)^2 & \\ \rho_{3,t} \sigma_{k=3,t}^F \sigma_{k=1,t}^F & \rho_{2,t} \sigma_{k=2,t}^F \sigma_{k=3,t}^F & (\sigma_{k=3,t}^F)^2 \end{pmatrix}. \quad (7)$$

O3—補足資料 2.式(4),(5) : 「震災を境に ρ と σ が切り替わる…」 という意味が、良く分からない。Shibata et al (2021)を見ても、式(5)の $T(\sigma_{F,k})$ の定義が述べられていない。震災後の自己相関係数の値を大きくしたいという意図なのか？詳しく説明してほしい。

ご指摘の通り、震災を境に自己相関係数に変化があった場合、それを表現するパラメータである。

Fが急激に減少しているので、震災前と同じ分散でランダムウォークさせるのではなく、より小さな分散でランダムウォークさせるほうが適切かもしれないという判断で、切り替えるためのパラメータ。外部有識者の指摘に対応して入れたパラメータでもある。

O4—補足資料 2.式(6)：このような仮定を用いると、Mが増加から減少、もしくは減少から増加に転じることが難しく、Mの継続的な上昇に繋がっているのではないか。従って、仮定の再検討が必要である。また、「Shibata et al (2021)のモデル選択結果に従い…」とあるが、 ρ_k を除くとモデル選択は再生産曲線やMSYにしか適用されておらず、意味不明である。込み入った話であるならば会合当日でもよいので、説明してほしい。

まず、モデル選択であるが、Shibata et al., 2021の

7 | MODEL SELECTION

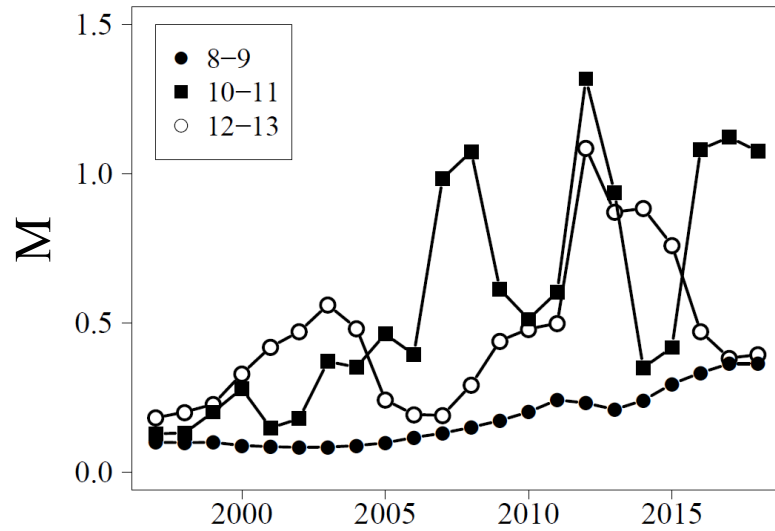
7.1 | State and observation models

のところにConsequently, the number of tested models is 7,680 (=32×3×2×2×2×5×2).

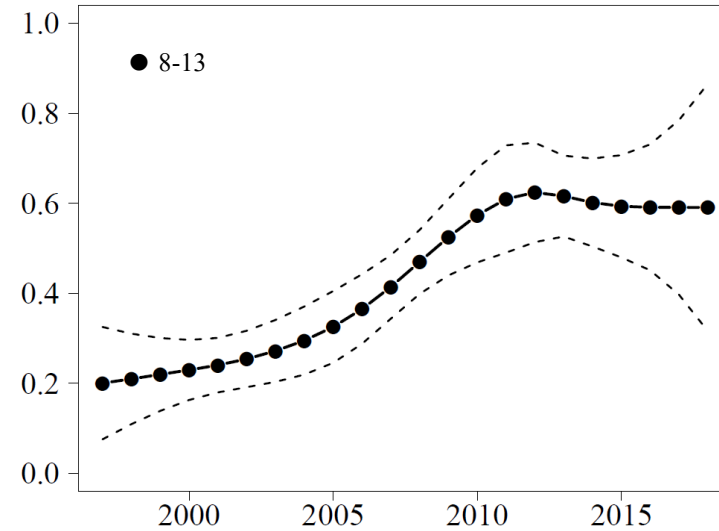
とあり、合計7680個のモデル選択を実施している。

ご指摘ももっともである。確かに、1階差分モデルを使えば、Mの急激な変化は表現可能である。ただし、その分レトロの性能が悪くなるので却下した。寿命の長い種であるズワイガニの自然死亡係数が大きく年変動するのも解釈が難しいと思われる。

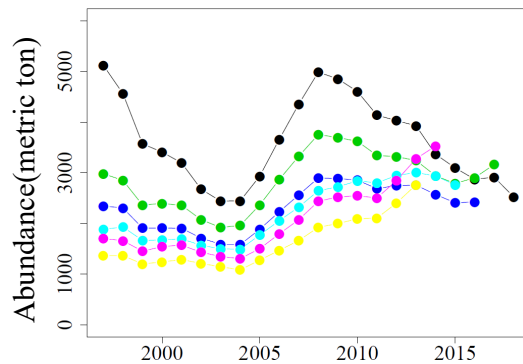
M=first order difference



M=second order difference

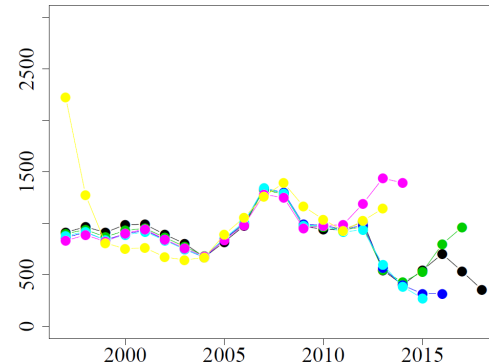


M=constant



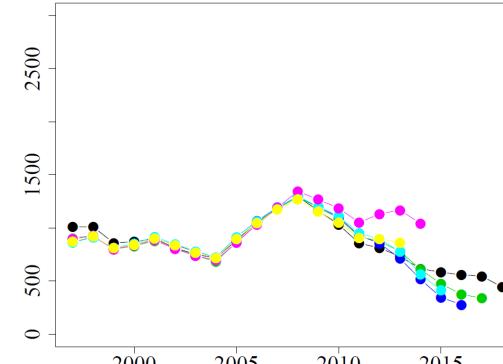
$$\rho_{future} = -8.5$$

M=first order difference



$$\rho_{future} = 66.3$$

M=second order difference



$$\rho_{future} = -5.8$$

O5—補足資料 2.式(30)~(32),(33)：そもそも γ は何を表しているのか？一例だが $\gamma_{h=1}$ と γ_1 は意味が異なるのか。添字 h の定義の記述および式(33)の定式化が必要ではないか？

γ は採集効率のパラメータで、過去の研究から得られた値をそのまま用いている。
 $\gamma_{h=1}$ と γ_1 の意味はご指摘の通り同じである。

・甲幅サイズ別の採集効率

$$q_{a,t} = \gamma_0 / (1 + \exp(-(\gamma_2 + \gamma_3 cw_{a,t}))), \quad (27)$$

$$\gamma_0 = 1 / (1 + \exp(-\gamma_1)), \quad (28)$$

$$\gamma_h \sim \text{MVN}(\hat{\gamma}_h, \Sigma_\gamma), \quad (39)$$

$$\hat{\gamma}_{h=1} = -4.276, \quad (30)$$

$$\hat{\gamma}_{h=2} = 0.0792, \quad (31)$$

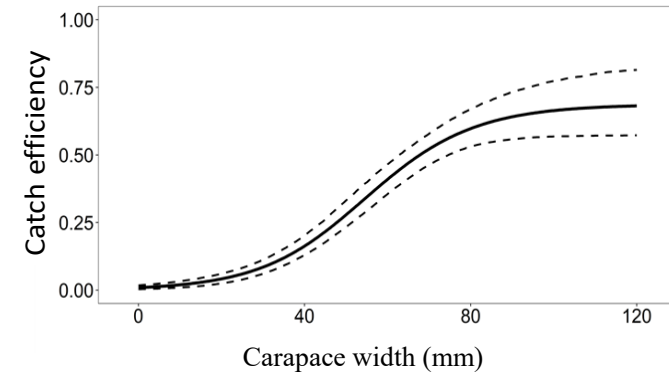
$$\hat{\gamma}_{h=3} = 0.683, \quad (32)$$

$$\Sigma_\gamma = \begin{pmatrix} 0.214 & & & \\ -0.003 & 8.758 \times 10^{-5} & & \\ 0.002 & -0.001 & 0.074 & \\ & & & \end{pmatrix} \quad (33)$$

なお、上三角部分は省略している。

Survey data

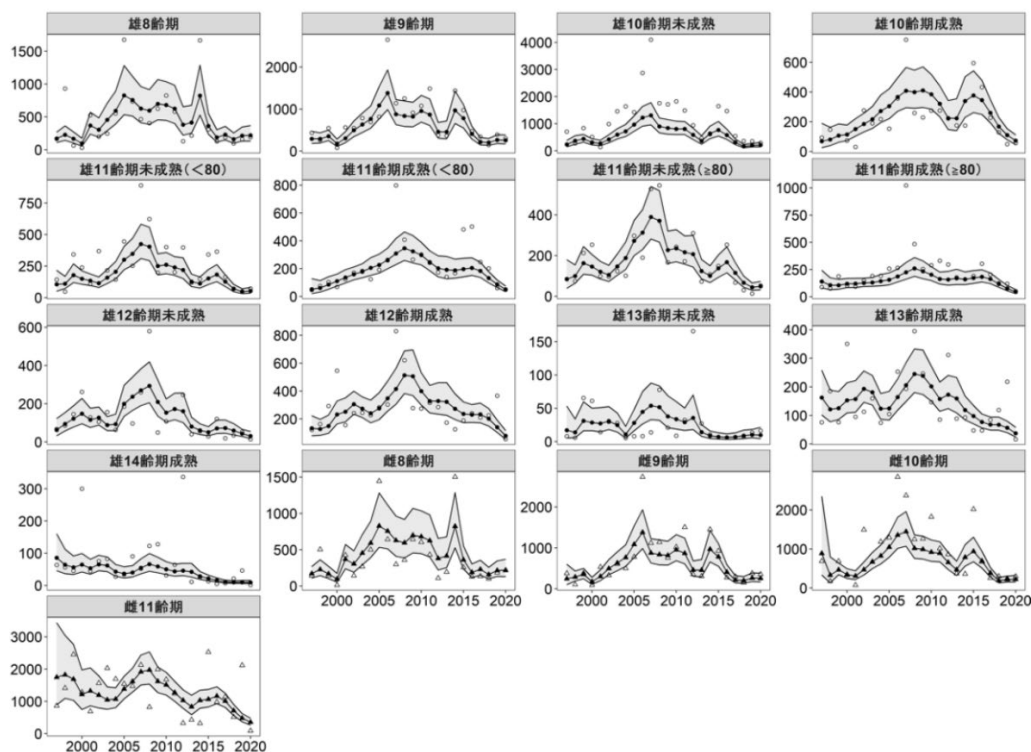
10



採集効率（サイズ依存）を用いて定量化
 小型のズワイガニほど採集効率が低下、より大きい係数を掛けて現存量推定

Q8—補足表 2-1/2-2 および補足図 2-3：2 種類の方法により推定された資源尾数は、傾向が似ている部分もあるが、絶対量は非常に異なっている。原因をどう捉えているか？

若鷹丸による着底トロール調査の結果（補足表2-1）に対して、JASAMを当てはめた結果、補足表2-2が得られ、それらを一つで表現したものが補足図2-3である。



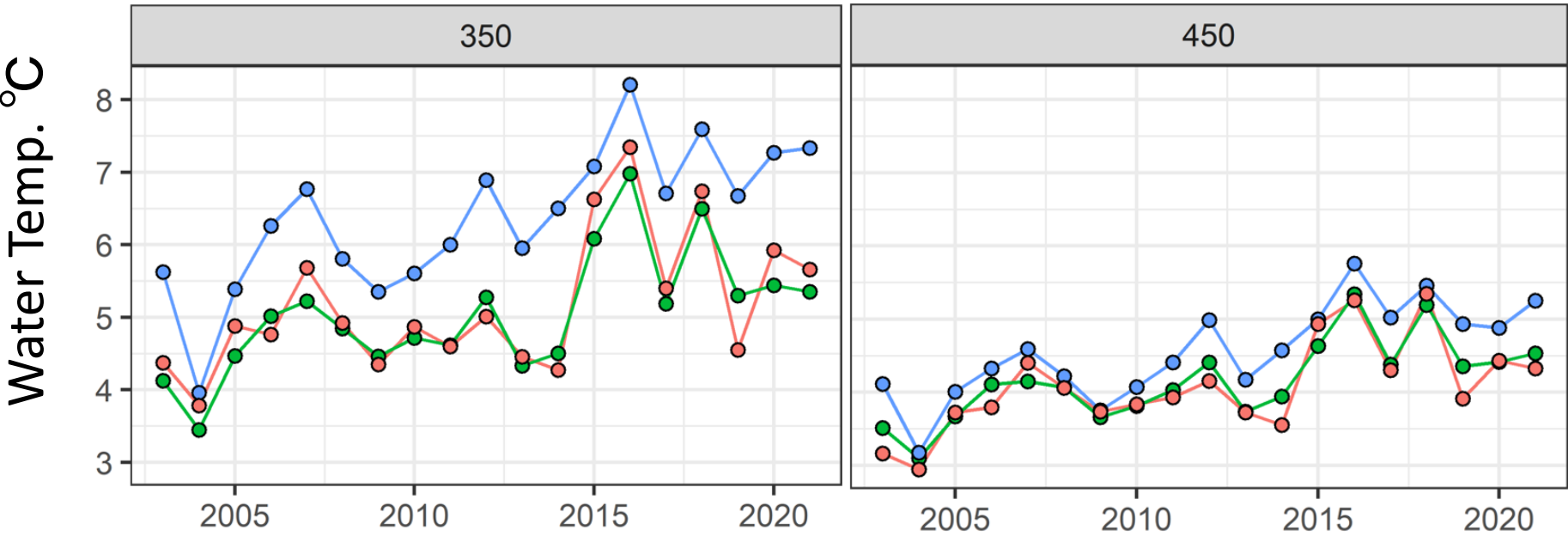
補足図 2-3. 雌雄別、齢期別資源尾数（採集効率未考慮）の推移
 白点は着底トロール調査によって得られた資源尾数、黒点は JASAM によって推定された資源尾数である。網掛けは推定された資源量の 95%信頼区間を示す。

異なっている部分もあるが、若鷹丸の調査はカニ山に当たるかどうかで、調査結果が大きく影響を受けるため、その影響によって飛び値が出現することがある。

さらに齢構成モデルであることから、一つ前の齢期で観測されていなくてもそれ以降の齢期で大きな資源尾数が観測され続ける場合、帳尻を合わせるために一つ前の齢期での乖離が大きくなる場合もある。

C5—補足資料 6.：資源減少の原因として底水温の変化を示唆しているが、将来的には底水温と資源量の因果・相関関係を調べ、再生産曲線に底水温を組み入れてはどうか。

底水温で資源減少をうまく説明できれば、そのような取り組みも有効と思われる。資源減少の要因の検討が現在の重要な課題となっている。



Q9—全体：VPA でなく stage-based-model を用いた理由は、年齢情報の不足で catch-at-age が作成出来ないからか？それとも、カニ特有の脱皮をモデルに組み込むためか？

VPAと似た構造には出来るもののが、最終脱皮があるためプラスグループがいくつもできる。そのため、完全に同じにはならない。

要因は両方であるが、前者（CAA）よりも、後者（最終脱皮）の要因の方が強い。