

プロGRESSレポート2 –ゼニガタアザラシ襟裳個体群の動態推測–

北門利英(東京海洋大学)・小林万里(東京農業大学)

1. はじめに

第2回科学委員会において、ゼニガタアザラシ襟裳個体群を対象に個体群動態推測を行い、また将来の管理方策について検討した結果を報告した。本報告では、幾つかのシナリオに基づく資源評価の更新結果を報告する。また資源評価結果に基づいた絶滅確率の評価を行い、レッドリストE基準(100年間の絶滅確率が10%以下)が満たされる条件について考察する。なお、前回の議論に基づき、本報告では将来の間引き数にはほとんど言及せず、自然死亡以外の人為的死亡としては、現状と同比率での混獲死亡が起こることを想定したシミュレーションとなっている。

なお、研究のオリジナリティー確保のため、公開される本資料には概要のみを記載している。

2. 資料と方法

資源評価には、繁殖期および換毛期における個体数観測値、そして混獲頭数の時系列を解析に用いた。具体的には、ゼニ研による個体数観測値は1974年から2013年まで、また石川&東農大グループの個体数観測値は1998年から2013年の期間それぞれ得られ、繁殖期には当歳個体と1歳以上個体の識別が可能である。この観測値は発信機実験等による上陸率推定値、およびヘリセンサ結果を利用した発見率推定値で補正され、かつゼニ研観測値は石川&東農大グループと比較して過小観測の傾向があるため相対バイアスをモデル内で推定する。なお、混獲数データのない年については資源量の一定割合が混獲されると仮定した(混獲率を推定)。

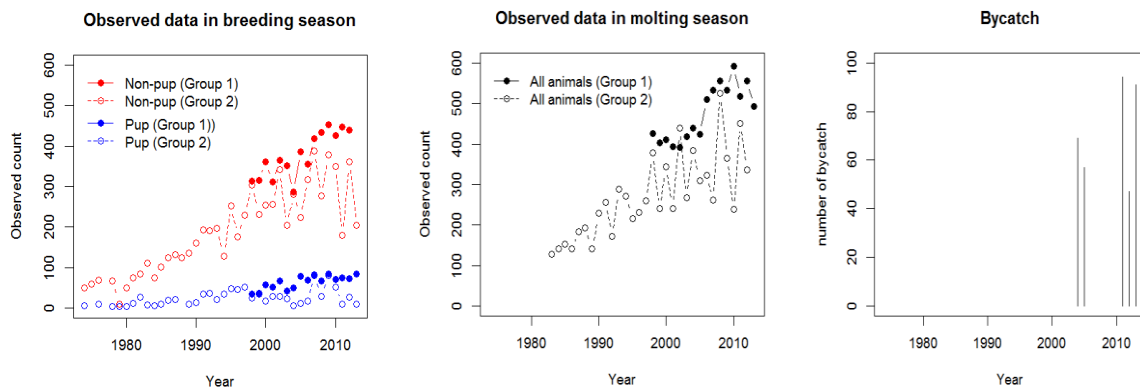


図1. 繁殖期と換毛期におけるゼニガタアザラシの最大観測個体数、および年間混獲数の時系列。

想定する資源動態モデルとして、1)プロダクションモデル、および2)密度依存型再生産構造を取り入れた齢構成モデル、の2種を用い、最尤法により増加率、環境収容力、初期枯渇率などのパラメータの推定を行った。2)の齢構成モデルでは自然死亡率を仮定(あるいは推定)しなければならないが、繁殖期において当歳個体と1歳以上個体が識別された観測数時系列を有効利用できる利点がある。加えて、将来の管理方策を考える際、当歳個体の混獲を回避しながら成獣を間引くことの効果を検証することも可能となる。

いずれのモデルにおいても既知の値として仮定するパラメータ(上陸率, 発見率, 死亡率など)が幾つかあり, これらの精度が推定結果に大きな影響をおよぼす. ここでは, 下記の仮定値を用いた. (注: 第2回報告時の発見率が異なる. 小林万里 ppt 資料参照)

Table 1: Pre-specified and unknown parameter values used in this assessment:

Parameter	Symbol	Value
Landing rate for male non-pup in breeding season	$h_{BS}^M$	0.44
Landing rate for female non-pup in breeding season	$h_{BS}^F$	0.53
Landing rate for pup in breeding season*	$h_0$	0.44(= $h_{BS}^F$ )
Landing rate for animals in molting season*	$h_0$	0.64(= $h_{MS}^F$ )
Detection probability in Group 1 for non-pup	$q$	0.78
Detection probability in Group 1 for pup*	$q_0$	$0.75 \times q$
Relative detection probability in Group 2 to Group 1	$\phi$	[Estimated in model]
Maturity of age $a$ animals of gender $g$	$\beta_a^g$	$\beta_3^g = 0, \beta_4^g = 0.5, \beta_5^g = 1$
Vulnerability to bycatch for age $a$ animals of gender $g$	$V_a^g$	$V_0^g = 1, V_1^g = 0.5, V_2^g = 0$
Maximum age	$A_{max}$	30
Survival probability due to natural mortality for age $a$ animals	$S_a$	0.5 ( $a = 0$ ) 0.8 ( $a = 1$ ) 0.95 ( $a \geq 2$ )

\*The value is not an estimate but assumed value.

### 3. プロダクションモデルによる結果

#### 3.1 資源評価

図2はプロダクションモデルにおける推定結果を示している. 長期時系列であるゼニ研データに対して加重するか否かによって推定結果(例えば環境収容力)はやや敏感に異なるが, 例えば(決定論的に)20年後に環境収容力の50%の資源レベルを達成することを目標とする場合, 許容される捕獲頭数はロバストである. なお, 推定された内的自然増加率は通常海産哺乳類で見られる値よりもやや大きな値となっている.

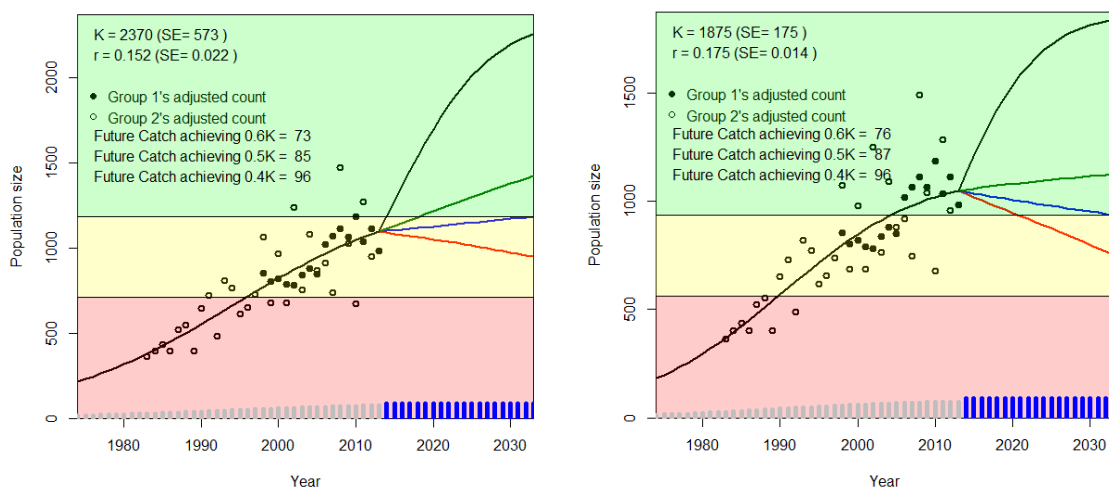


図2. 最尤法によるプロダクションモデルの推定結果(図示しているデータは換毛期の個体数観測値を上陸率, 発見率, そして相対バイアスで補正した値であり, また実践は資源個体数を表す). 左図は2つのデータ系列を等価に扱った場合. 右図はゼニ研データに10倍の重みを与えた場合. 後者の方が環境収容力は低く推定され, 枯渇率としては楽観的な結果を示す. 横軸の棒グラフは推定された混獲数および環境収容力の50%をターゲットとした将来の許容捕獲頭数を示す.

### 3.2 リスク評価

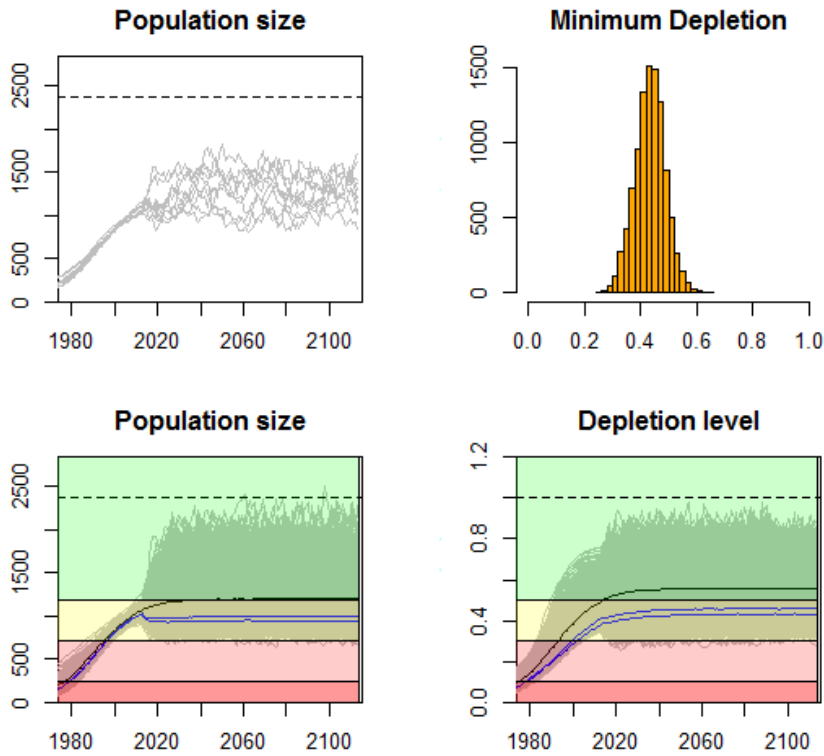


図 3(a-1). ベイズ法によって推定誤差を考慮した個体群動態と将来予測(尤度の重みは共通, 以下同様). 過程誤差(CV=0.05)のみを仮定. 左上図は全 10000 回の繰り返しのうちに最初の 10 回を表示. 青線は 5%,10%点, 黒線はメディアン(以下同様).

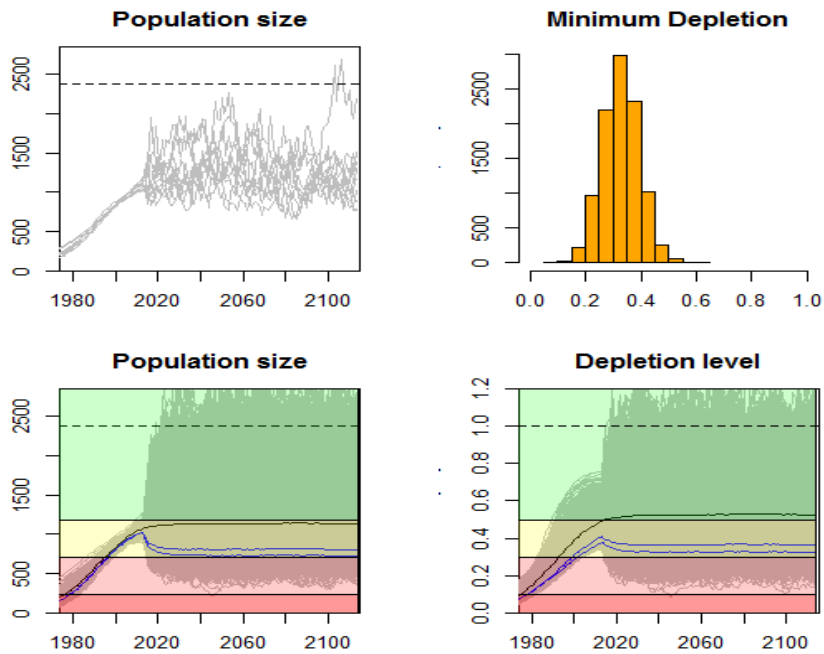


図 3 (a-2). ベイズ法によって推定誤差を考慮した個体群動態と将来予測. 過程誤差(CV=0.1)のみを仮定.

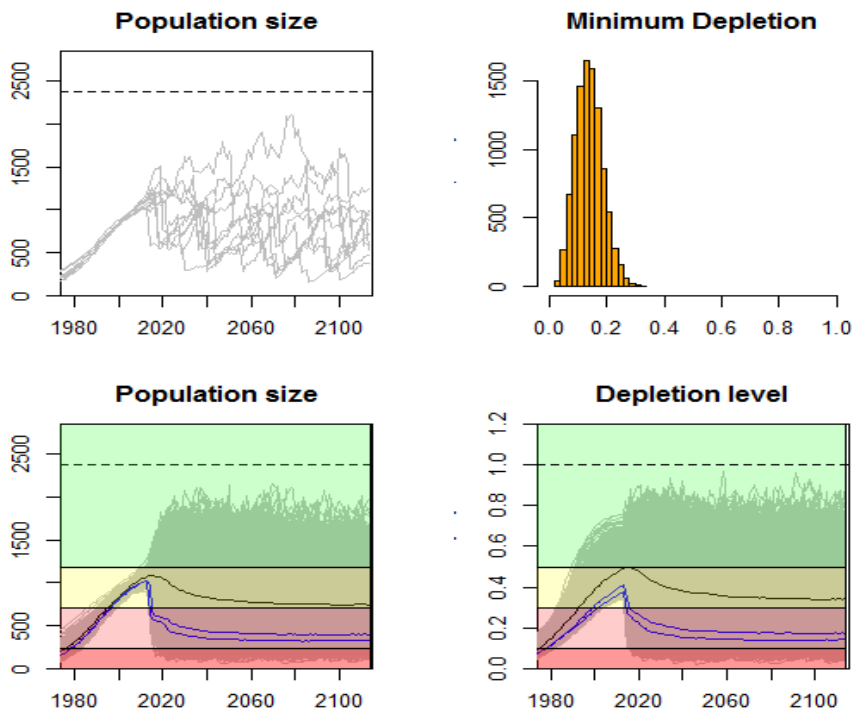


図3 (b-1). ベイズ法によって推定誤差を考慮した個体群動態と将来予測. 過程誤差(CV=0.05)に加えて, 100年間に5回, 死亡率50%のアザラジステンパーがランダムに生じる場合.

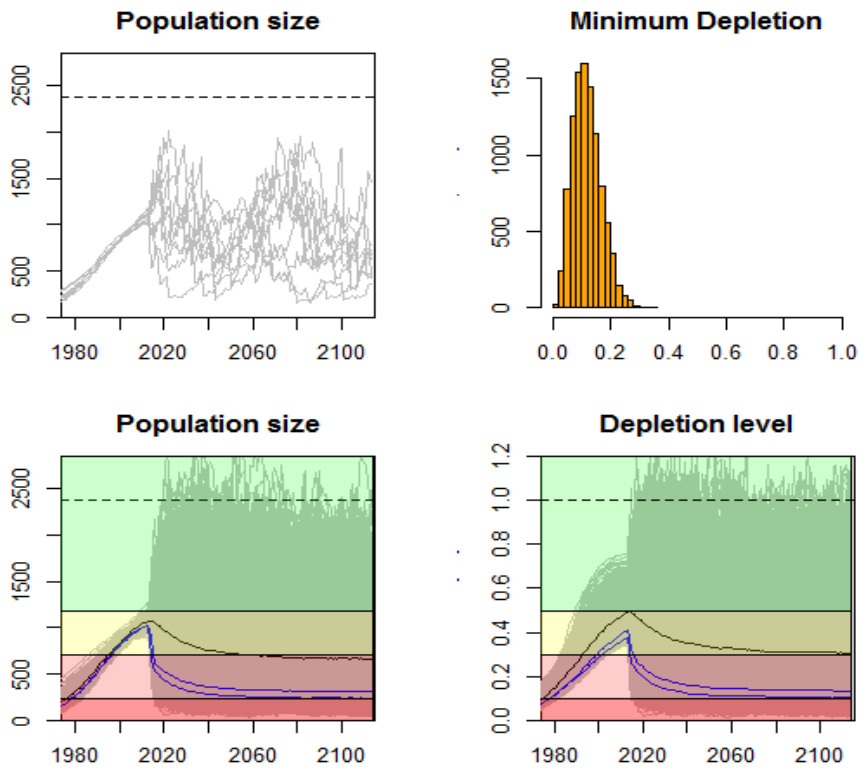


図3 (b-2). ベイズ法によって推定誤差を考慮した個体群動態と将来予測. 過程誤差(CV=0.1)に加えて, 100年間に5回, 死亡率50%のアザラジステンパーがランダムに生じる場合.

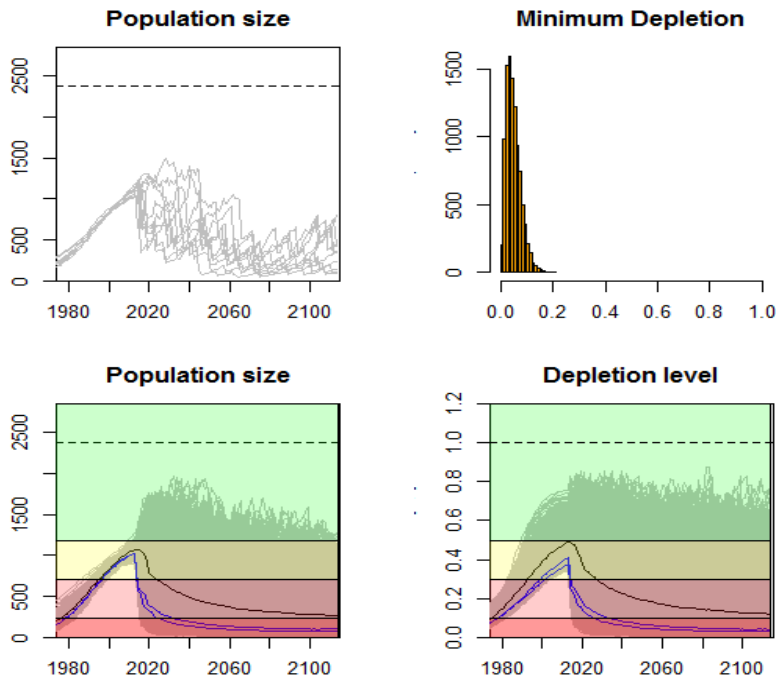


図3 (c-1). ベイズ法によって推定誤差を考慮した個体群動態と将来予測。過程誤差(CV=0.05)に加えて, 100年間に10回, 死亡率50%のアザラシジステンパーがランダムに生じる場合。準絶滅確率(環境収容力の10%以下となる確率)は10%以上。絶滅確率(環境収容力の1%以下)は2%。

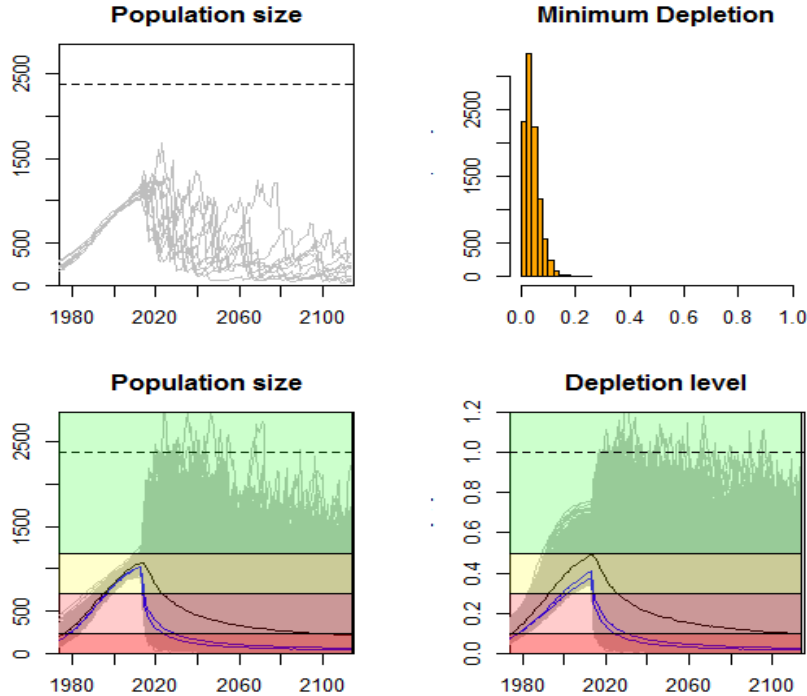


図3 (c-2). ベイズ法によって推定誤差を考慮した個体群動態と将来予測。過程誤差(CV=0.1)に加えて, 100年間に10回, 死亡率50%のアザラシジステンパーがランダムに生じる場合。準絶滅確率(環境収容力の10%以下となる確率)は10%以上。絶滅確率(環境収容力の1%以下)は6.8%。

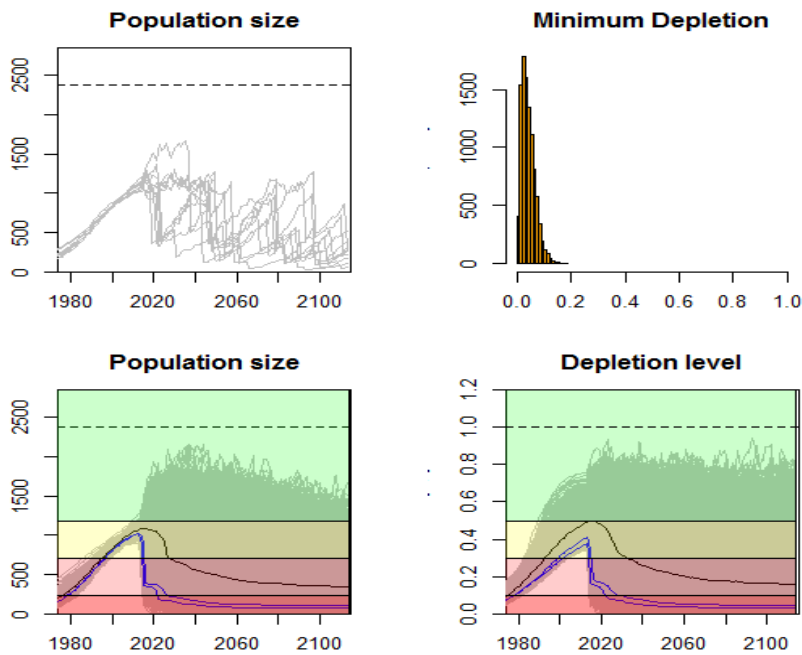


図3 (d). ベイズ法によって推定誤差を考慮した個体群動態と将来予測. 過程誤差(CV=0.05)に加えて, 100年間に5回, 死亡率70%のアザラシジステンパーが生じるとき, 準絶滅確率は10%以上. 絶滅確率は4%.

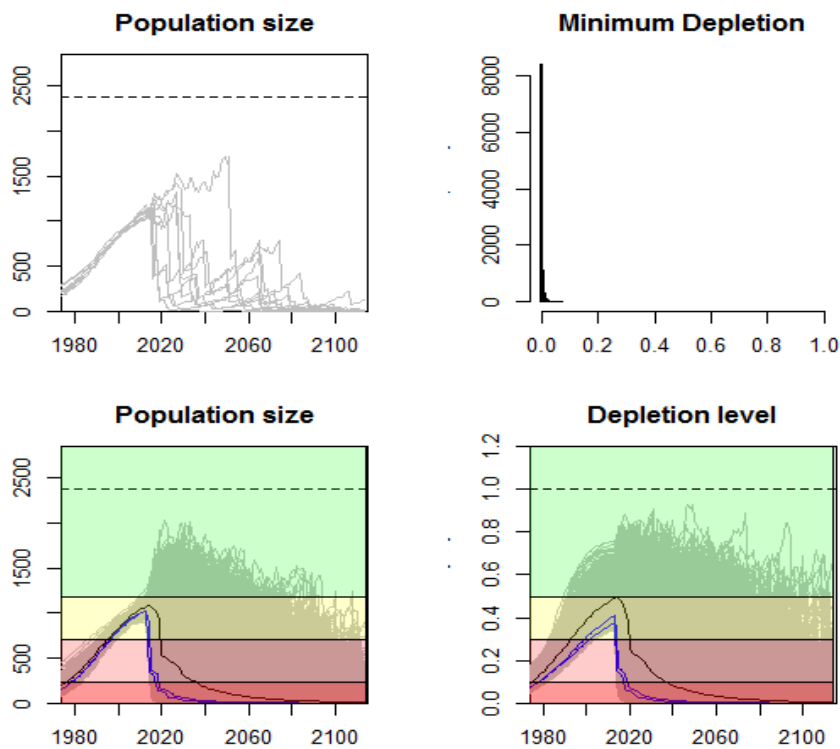


図3 (e). ベイズ法によって推定誤差を考慮した個体群動態と将来予測. 過程誤差(CV=0.05)に加えて, 100年間に10回, 死亡率70%のアザラシジステンパーが生じる場合. 絶滅確率95%.

アザラジステンパーの生起頻度と死亡率に加えて、本来有する個体群動態の過程誤差の大きさにも絶滅確率(あるいは準絶滅確率)は大きく依存する。ただし、図 3(a-1)と図 3(a-2)の比較で分かるように変動係数  $CV=0.1$  という仮定はこれまでの安定した動態を考慮すると不適切と考えられる。 $CV=0.05$  の場合でも(c-1)にみられるようにアザラジステンパーの生起頻度が比較的高いと準絶滅確率は 10%以上となる。(この過程誤差の推定をクジラ計算が終わったらやっておくこと)

#### 4. 齢構成モデルによる結果

##### 4.1 資源評価

死亡率の仮定が環境収容力の推定値、そして環境収容力に対する現在の枯渇レベルの値にも影響を与える。図 4 に齢構成モデルによる推定結果の一例を示す。当歳と 1 歳の個体の年間死亡率をそれぞれ 50%および 20%と仮定し、2 歳以上個体の年間死亡率を 5%または 3%と仮定した。

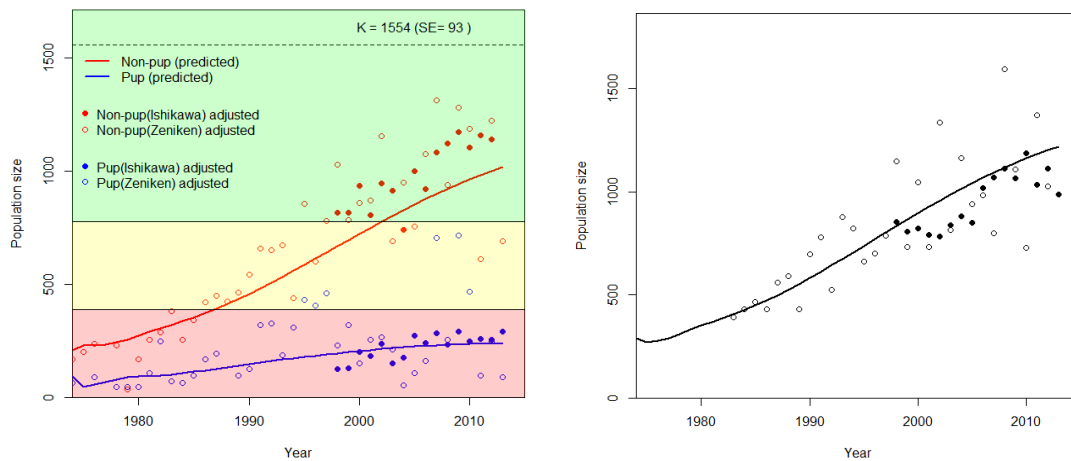


図 4(a). 齢構成モデルによる推定結果(観測データは繁殖期および換毛期の個体数観測値を上陸率、発見率、そして相対バイアスで補正した値)。当歳と 1 歳の個体の年間死亡率を 50%および 20%と仮定し、2 歳以上個体の年間死亡率を 5%と仮定した場合。

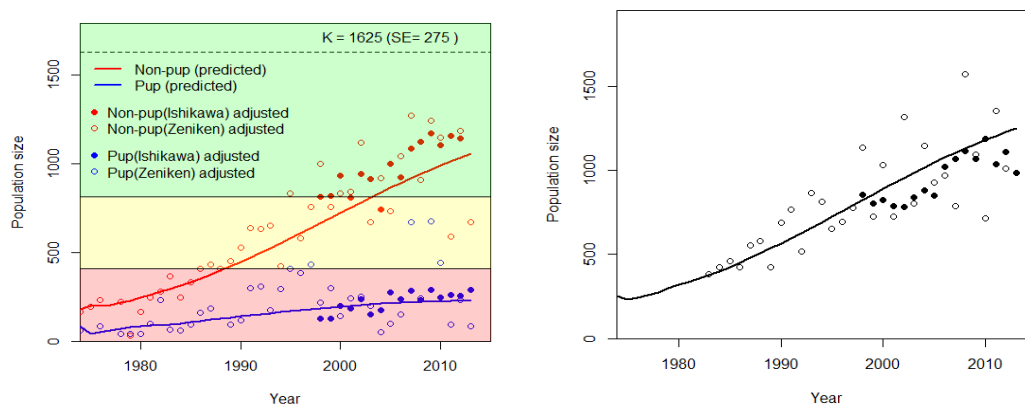


図 4(b). 2 歳以上個体の年間死亡率を 3%と仮定した場合(SE の値は要検討)。

なお、プロダクションモデルの環境収容力は当歳を含んだ値であるが、齢構成は1歳以上で定義していることに注意(モデルの都合上)。

ところで、当歳と1歳の個体の年間死亡率の仮定は結果に比較的大きな影響を与える。しばしば収束しない。

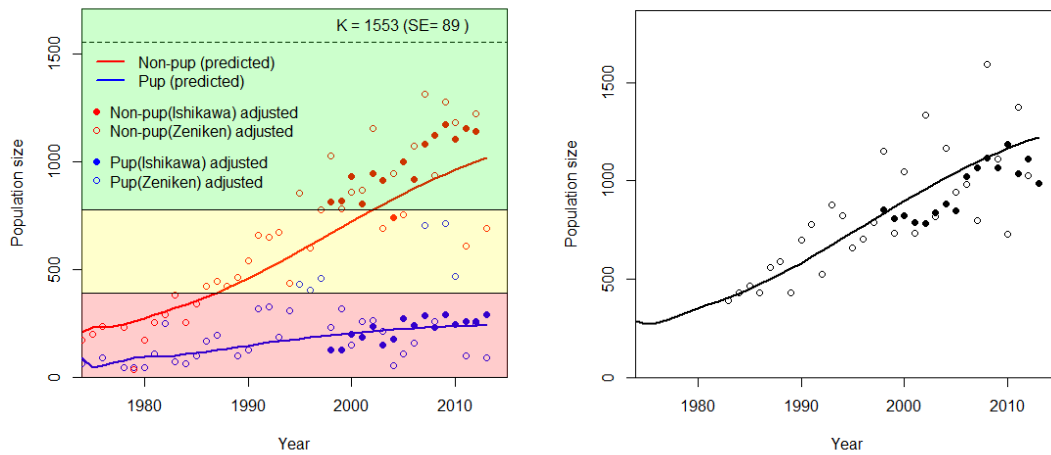


図 5(a). 齢構成モデルによる推定結果. 当歳と1歳の個体の年間死亡率を50%および10%と仮定し、2歳以上個体の年間死亡率を5%と仮定した場合。

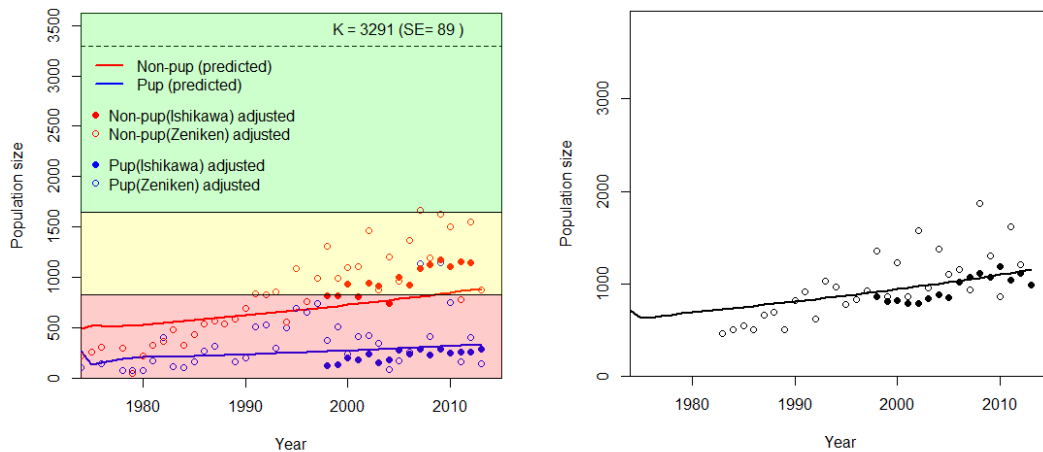


図 5(b). 齢構成モデルによる推定結果. 当歳と1歳の個体の年間死亡率を70%および10%と仮定し、2歳以上個体の年間死亡率を5%と仮定した場合。(to come later 収束していない)

## 4.2 リスク評価



ベイズ法の実装が未完のため、推定の不確実性を省略したシミュレーションを行った。ただし、推定不確実性を考慮しても、枯渇レベルに対するリスクの評価を行う限り、大きな影響を与えないかもしれない。(注:完全に絶滅するように設定していないため、絶滅確率はやや不正確かも知れない)

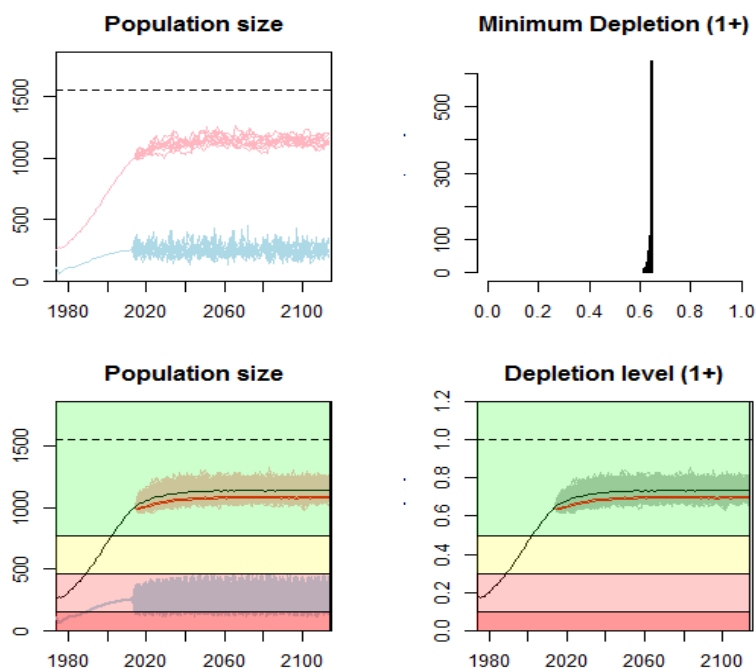


図 6(a-1). 最尤法によって推定誤差を考慮した個体群動態と将来予測(尤度の重みは共通, 以下同様). 再生産の過程誤差(CV=0.2)のみを仮定. 左上図は全 1000 回の繰り返しのうちに最初の 10 回を表示. 赤線は 5%,10%点, 黒線はメディアン(以下同様).

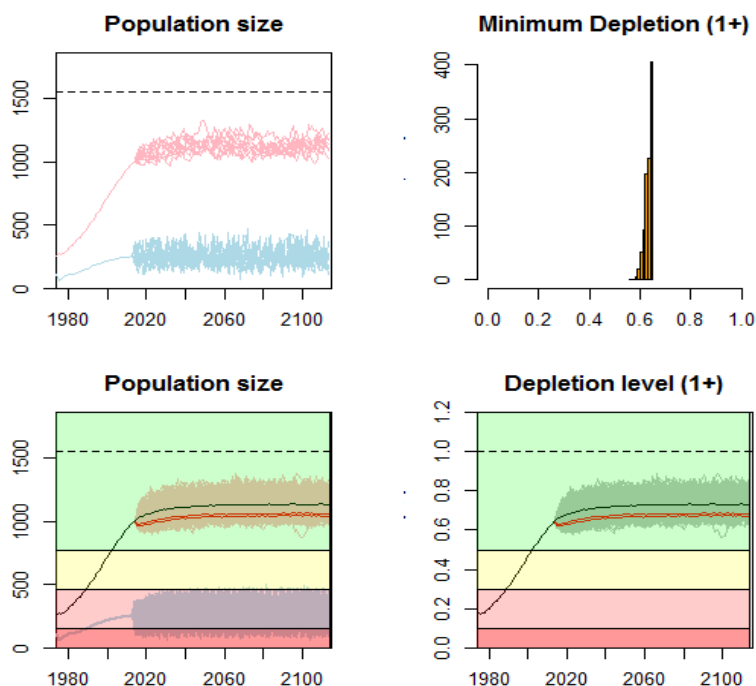


図 6(a-2). 最尤法によって推定誤差を考慮した個体群動態と将来予測(尤度の重みは共通, 以下同様). 再生産の過程誤差(CV=0.3)のみを仮定.

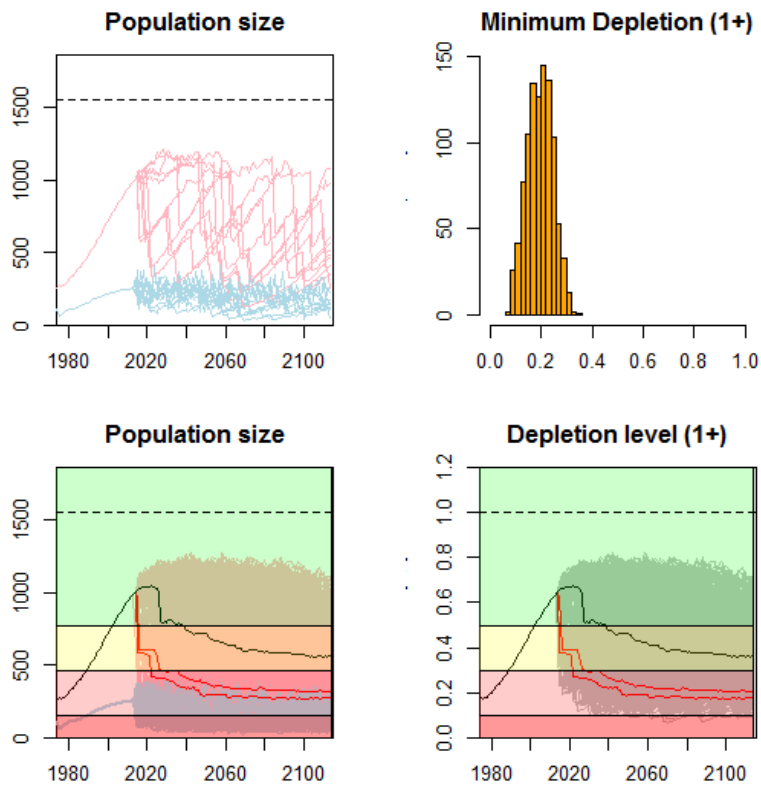


図 6(b-1). 再生産の過程誤差(CV=0.2)に加えて, 100 年間に 5 回, 死亡率 50%のアザラシジステンパーがランダムに生じる場合.

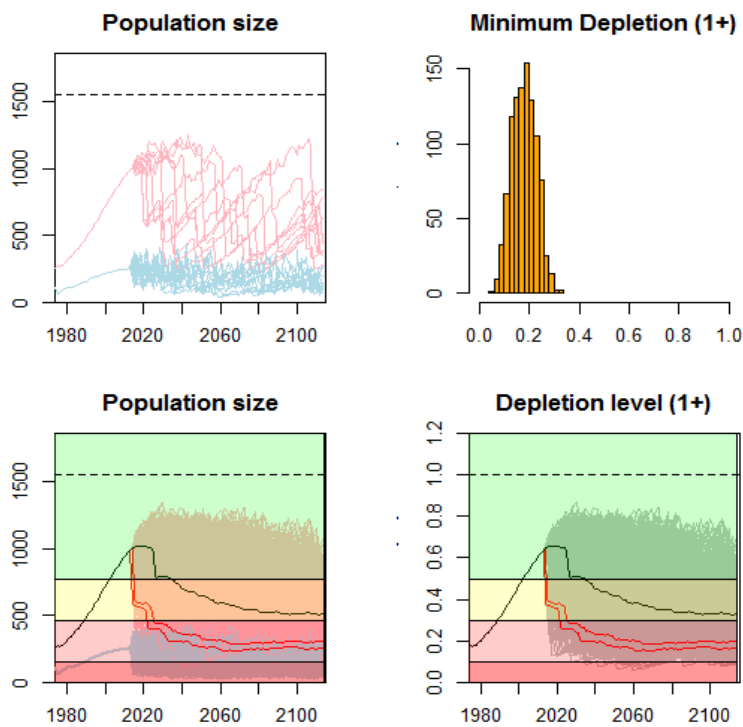


図 6(b-2). 再生産の過程誤差(CV=0.3)に加えて, 100 年間に 5 回, 死亡率 50%のアザラシジステンパーがランダムに生じる場合.

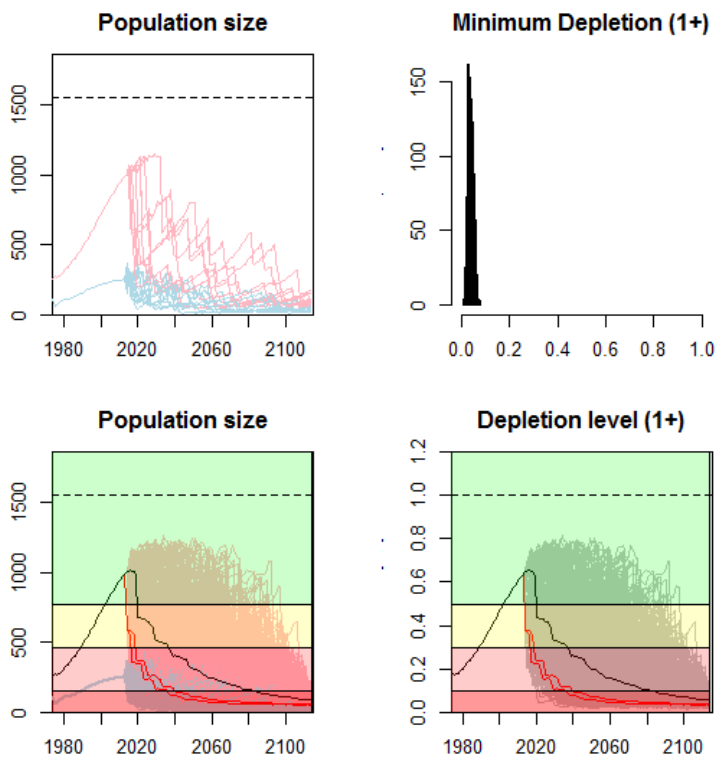


図 6(c-1). 再生産の過程誤差(CV=0.2)に加えて, 100年間に10回, 死亡率50%のアザラシジステンパーがランダムに生じる場合. 準絶滅確率は10%以上.

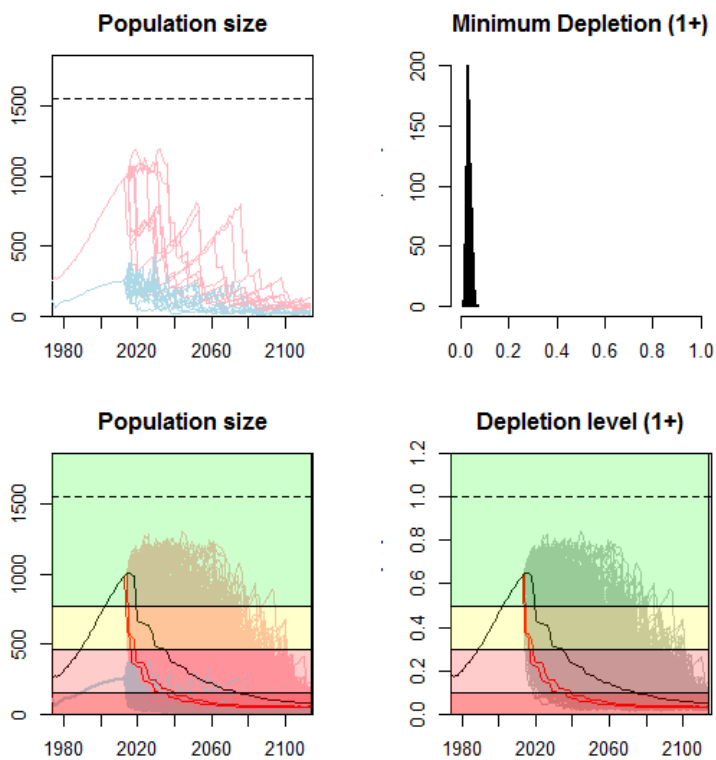


図 6(c-2). 再生産の過程誤差(CV=0.3)に加えて, 100年間に10回, 死亡率50%のアザラシジステンパーがランダムに生じる場合. 準絶滅確率は10%以上.

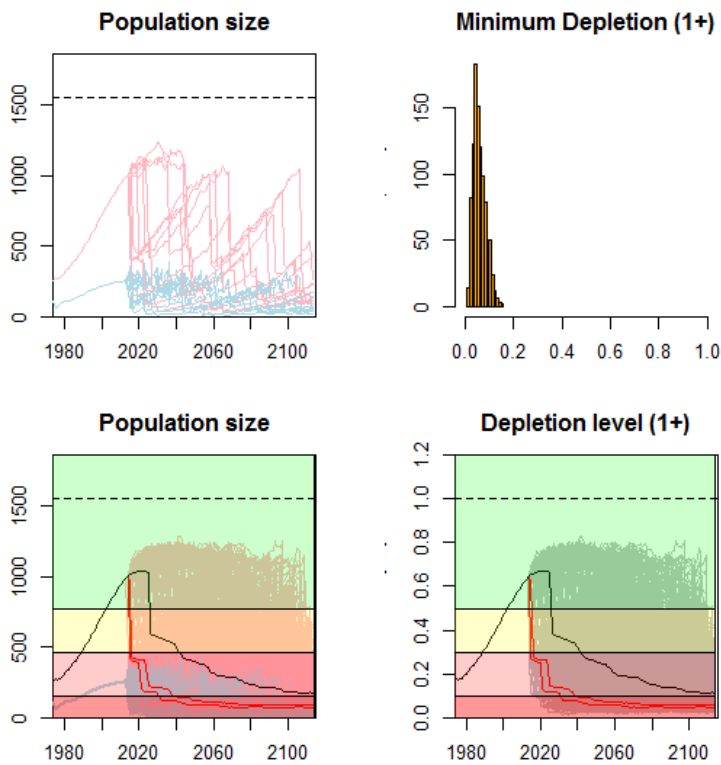


図 6(d). 再生産の過程誤差(CV=0.2)に加えて, 100 年間に 5 回, 死亡率 70%のアザラシシステムパーがランダムに生じる場合.

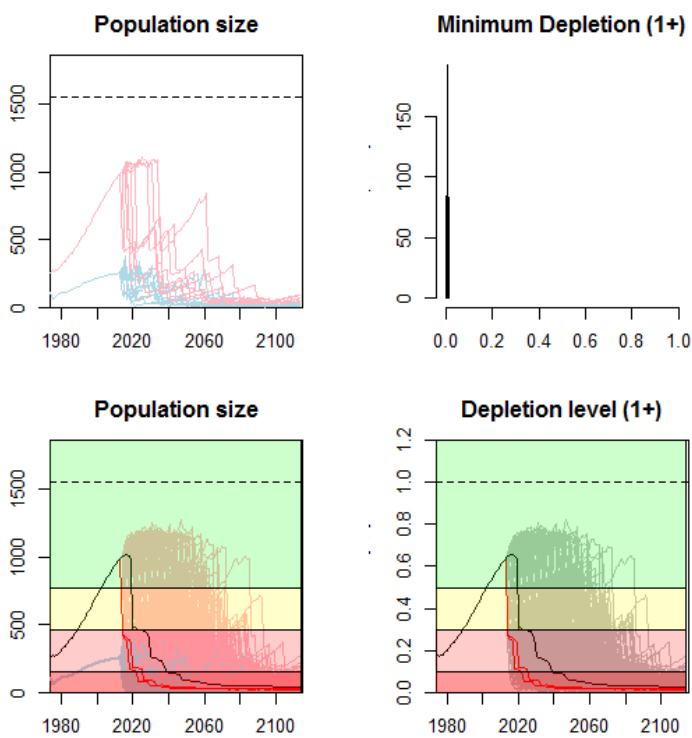


図 6(e). 再生産の過程誤差(CV=0.2)に加えて, 100 年間に 10 回, 死亡率 70%のアザラシシステムパーがランダムに生じる場合. 絶滅確率 68%.

## 5. 考察, 注意点, 今後の課題

### 5.1 データおよびインプットパラメータの改善

- 個体数時系列に対する補正係数として、農大 G による上陸率および発見率の推定を用いた(小林万里 ppt 資料参照)。但し、石川・農大グループの観測値は繁殖期および換毛期それぞれの最大値観測数であるが、推定された上陸率は必ずしも最大個体数を観測したときの値ではなく、推定値の安定と信頼性確保のために 300 個体以上の個体が発見された時の値である。個体数観測値と上陸率推定値には少なからず相関があるように思われる(単純相関=0.585)。したがって、資源動態に利用する個体数についてもそのような基準に合わせた平均値(あるいはメディアン)などにすべきかもしれない(これは北門私見)。
- 前回の委員会でも述べたが、個体数観測情報の整備比べて、混獲頭数の時系列の整備が不十分という印象である。[現在まで混獲個体数のアップデート情報を得ていないが、この情報はレッドリスト委員会に資料提出までに使える可能性があるか?]
- いずれのモデルにおいても既知の値として仮定するパラメータ(上陸率、発見率、死亡率など)が幾つかあり、これらの精度が推定結果の信頼性に大きな影響をおよぼす。現在仮定している値の他のいくつかを用いたセンシビティテストもいくつか行う予定(前述の理由により現在ペンディング)。

### 5.2 モデリング

- この報告では 2 つのモデルを用いて資源動態の推測を試みた。プロダクションモデルは齢構成を考えない分だけ単純であり設定あるいは推定するパラメータは比較的少ないが、一方で齢構成モデルは自然死亡率など様々な値を予め決める必要がある。しかしながら、年齢別の自然死亡率の情報は乏しく、エキスパートジャッジによる仮定をせねばならない。また、推定される個体群動態の挙動はこの自然死亡率の設定にかなり影響される。
- プロダクションモデルの結果は補助的な解析とみなされるかもしれないが、未知変数の値を無理に設定しない意味で、そのようなパラメータにロバストと言える。
- プロダクションモデルの 2 つの結果のうち、尤度の重みを 1 : 1 にした結果は環境収容力がやや大きい( $K_{ML}=2369$ ,  $K_{Bayes}=2282$ )。本報告ではこの場合をベースケースにしたが、もし想定と異なるということであれば尤度の重みを 1 : 10 にした結果( $K_{ML}=1875$ )を用いてもよい。恐らくこちらの方が楽観的な結果になるであろう(現状の枯渇レベルが K の 60% に近く安全なレベルであるため)。
- 一方で齢構成モデルは、(前回餌消費量の少ない当歳や若齢個体の保護と成獣の間引きの組み合わせによってより良い管理を模索する際には、大変重要なフレームワークとなる。推定される環境収容力の値などが類似しているパラメータの組み合わせを用いる？

表 2. 利用したモデルの比較

	①Production model	②Age-structured model
年齢構造	無い	有り
主な未知パラメータ	環境収容力 (K) 内的自然増加率 (r) 観測初期の枯渇レベル(P0/K)	環境収容力 (K) 反発係数(A) 繁殖係数(f) 年齢別自然死亡率 (1-Sa) 観測初期の枯渇レベル(P0/K)
必要な観測値	資源量指数の時系列 捕獲頭数の時系列	資源量指数の時系列 年齢別捕獲頭数の時系列 (あるいは選択率の仮定)
利点	比較的情報量が少なくても推定可	種々の生物学的パラメータを仮定した現実的な年齢構成モデルを構築可
欠点	資源, 捕獲の年齢組成は変わらず一定と仮定	情報量の要求が比較的多く, 捕獲の年齢構成が未知の場合には仮定

### 5.3 リスク評価

- 本シミュレーションにおいて将来予測をする際に効く不確実性は「推定不確実性」, 「過程誤差」と「疫病による大量死」である。「推定誤差」については今回ベイズ法を用いて, パラメータの不確実性を事後分布で表し, 次の過程誤差などを同時に考慮した。その意味で, 上記3つの不確実性を同時に考慮したリスク評価を行ったことになる。
- 「過程誤差」は資源の挙動を見ると,  $CV=0.05$  あるいは実際にはそれ以下が適当な範囲かも知れない。
- 「疫病による大量死」については, 過去に襟裳地域でこのような大幅な減少を伴う観測がみられないため, 100年に10回という頻度での疫病発生はかなり悲観的(安全を見越した予防的)な設定となっている。100年に5回程度50~70%位が適当か。
- 取り入れていない不確実性は, 「観測データの誤差」, 「インプットパラメータの不確実性」であるが, 特に注意はモデリングの注意点でも述べた後者か。ただし, 上陸率や発見率は, 環境収容力などの推定値には効いても, 今回のような現状維持型のシミュレーションの場合, リスク自体はロバストであろう。

### 5.4 今後の予定(スケジューリング)

- ①過程誤差の推定を念のため行う(観測誤差と識別できないかもしれないがトライする)
- ②それに合わせてシミュレーションも併せて実施し, 準絶滅確率, 絶滅確率を追加
- ③ドキュメント作成
- ④Management Procedure を取り入れた Management Strategy Evaluation のフレームワークを実装
- ⑤Conservation(資源の保全)と Management (漁業被害の軽減)のバランスのとれた管理手法提案