

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-187649
(P2004-187649A)

(43) 公開日 平成16年7月8日(2004.7.8)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
AO1K 73/10	AO1K 73/10	2B105
GO6F 17/18	GO6F 17/18	5B056
GO6F 17/60	GO6F 17/60	
	GO6F 17/60	

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 49 頁)

(21) 出願番号	特願2002-363166 (P2002-363166)	(71) 出願人	501168814 独立行政法人水産総合研究センター 神奈川県横浜市金沢区福浦2丁目12番4号
(22) 出願日	平成14年12月13日 (2002.12.13)	(74) 代理人	100118670 弁理士 及川 泰嘉
		(74) 代理人	100090941 弁理士 藤野 清也
		(72) 発明者	丹羽 洋智 茨城県鹿島郡波崎町海老台 独立行政法人 水産総合研究センター内
		Fターム(参考)	2B105 PA20 5B056 BB22 BB64 BB91 DD00 DD01

(54) 【発明の名称】 浮魚資源現存量の区間推定方法、そのためのプログラム及び記録媒体

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 ランダムサンプリングを必要とせず、また、経験的あるいは試行錯誤的な仮定を設けることなく、魚群が従うサイズ分布に関する自然法則に基づいてバイアスを修正した浮魚資源現存量の区間推定を行なう方法、通常のコンピュータを用い極めて短時間の内にその計算処理を行なうためのプログラム及び記録媒体を提供することにある。

【解決手段】 浮魚の群れなど集群性魚群に関する実測データ、サイズNの魚群の計測度数Wが従う群れサイズ分布関数

$$W(N) \propto N^{-1} \exp \left[-\frac{N}{\langle N \rangle_P} \left(1 - \frac{e^{-N/\langle N \rangle_P}}{2} \right) \right]$$

10

を用いて調査海域における平均群れサイズ N_p の回帰分析を行なうことによってサイズ分布データの歪みを修正し、この分析結果と、浮魚の単位面積当たり個体数、つまり個体数密度、魚群の分裂確率p、及び、前記平均群れサイズ N_p との間に成り立つ関係式

$$\frac{\rho}{p} \propto \langle N \rangle_P$$

20

【特許請求の範囲】

【請求項1】

集群性を有する浮魚に関して、測定海域における予め設定した航路に沿って実測した魚群サイズの頻度分布を含む、魚群の数密度が算出できるデータに加え、群れを漁獲の単位とする漁法による漁獲量より求めた群れサイズを含む、魚群の数密度を算出できないデータを含め、群れの構成個体数である実測した魚群サイズの階級別に度数集計した頻度分布データであって、任意サイズ N_i と任意サイズ範囲の実測魚群数 W_i で表した頻度分布データ $\{ (N_i, W_i) \mid$ 階級幅を N とする階級 $(i-1)N \sim iN$ の範囲の計測魚群数を W_i とし、その階級値は $N_i = (i-0.5)N$ 、但し $i = 1, 2, \dots, n$ で階級数は n } から、任意のある1つの魚が属する群れサイズの期待値となる平均群れサイズ N_p を与える手順 A、

実測した群れサイズの頻度分布データについて、平均群れサイズ N_p により規格化し、群れサイズ分布データとして取り込む手順 B、

前記、所定の海域で実測した群れサイズ分布を平均群れサイズ N_p で規格化したデータであって、任意サイズ N_i と平均群れサイズ N_p で規格化した任意サイズ範囲の魚群数 W_i で表したデータ $\{ (N_i, W_i) \mid \sum_{j=1}^n N_j W_j = N_p; i = 1, 2, \dots, n \}$ [但し、 W はサイズ階級 N の魚群数 (規格化された相対度数) で、 n は頻度分布の階級数] を用い、魚群サイズが従う母集団分布の規格化因子 P_{norm} を求め、浮魚資源特性を【式1】

$$W(N) = P_{norm} N^{-1} \exp \left[-\frac{N}{\langle N \rangle_P} \left(1 - \frac{e^{-N/\langle N \rangle_P}}{2} \right) \right]$$

[但し、積分式 $\int_0^\infty N W(N) dN$ は平均群れサイズに一致する。] という魚群サイズが従う分布関数で与える手順 C、

前記実測した群れサイズ分布の規格化データ $\{ (N_i, W_i) \mid i = 1, 2, \dots, n \}$ について、群れサイズ分布関数

【式2】

$$W_i = \theta_1 N_i^{-1} \exp \left[-\frac{N_i}{\theta_2} \left(1 - \frac{e^{-N_i/\theta_2}}{2} \right) \right] + \varepsilon_i$$

$$(i = 1, 2, \dots, n)$$

[但し、 θ_1 は規格化因子を与えるパラメータ、 θ_2 は平均魚群サイズを与えるパラメータ、 ε_i は残差、 n はデータ数となる階級別度数集計した群れサイズ頻度分布の階級数] を

パラメータ θ_2 において非線形な回帰モデルとして、前記式1を推定すべき母集団の初期分布に設定して回帰分析を行い、パラメータ θ_1 として与えられる規格化因子の最小二乗推定値 $\hat{\theta}_1$ 、及び、パラメータ θ_2 として与えられる魚群の平均サイズの最小二乗推定値 $\hat{\theta}_2$ を標準誤差 $se(\hat{\theta}_2)$ とともに求め、この最小二乗推定値 $\hat{\theta}_2$ に対する前記標準誤差 $se(\hat{\theta}_2)$ の割合を推定結果の精度評価となる変動係数 $CV(\%)$ として求める手順 D、前記最小二乗推定値 $\hat{\theta}_1$ 、 $\hat{\theta}_2$ を前記式2に代入し歪みを修正した群れサイズ分布関数 $W_{re}(N)$ を用いて、浮魚の個体数密度に比例する、資源現存量指標のバイアスを修正した点推定値 S を

【式3】

$$S = \int_0^\infty N W_{re}(N) dN = \int_0^\infty \hat{\theta}_1 \exp \left[-\frac{N}{\hat{\theta}_2} \left(1 - \frac{e^{-N/\hat{\theta}_2}}{2} \right) \right] dN$$

10

20

30

40

50

により求め、バイアスの推定値を、 $S - \frac{S}{\theta_2} t_{\alpha}(v) se(\theta_2), S + \frac{S}{\theta_2} t_{\alpha}(v) se(\theta_2)$ によって求める手順 E、
 スチューデントの t 分布について、前記実測した魚群サイズ分布のデータ数となる階級数 n と前記回帰モデルのパラメータ数 2 の差 を式 $= n - 2$ によって求めて自由度 v として与え、t 分布の片側 $100 \times \alpha$ パーセント点であって両側 $200 \times \alpha$ パーセント点の $t_{\alpha}(v)$ を計算し、前記浮魚の資源現存量指標の点推定値 S 、前記平均サイズの最小二乗推定値 θ_2 と標準誤差 $se(\theta_2)$ を用いて、浮魚の資源現存量指標の真値の任意パーセント信頼区間

【式 4】

$$\left(S - \frac{S}{\theta_2} t_{\alpha}(v) se(\theta_2), S + \frac{S}{\theta_2} t_{\alpha}(v) se(\theta_2) \right)$$

10

〔但し、バイアスを修正した真値の $100 \times (1 - 2\alpha)$ パーセント信頼区間〕を求める手順 F、
 とからなることを特徴とする浮魚資源現存量の区間推定方法。

【請求項 2】

集群性を有する浮魚に関して、測定海域における予め設定した航路に沿って実測した群れの構成個体数である群れサイズ N の階級別に度数集計した頻度分布データ W について、魚群の数密度により規格化し、実測した群れサイズ分布データを取り込む手順 A、
 前記群れサイズ分布データを単位面積当り魚群数で規格化したデータであって、任意サイズ N_i と単位面積当り魚群数で規格化した任意サイズ範囲の魚群数 W_i で表したデータ $\{ (N_i, W_i) \mid$ 階級幅を ΔN とする階級 $(i - 1) \Delta N \sim i \Delta N$ の範囲の単位面積当り計測魚群数を W_i とし、その階級値は $N_i = (i - 0.5) \Delta N$ 、但し $i = 1, 2, \dots, n$ で階級数は n } を用い、魚群サイズが従う母集団分布の規格化因子 P_{norm} 、及び、任意のある 1 つの魚が属する群れサイズの期待値となる平均群れサイズ N_p を求め、浮魚資源特性を

20

【式 5】

$$W(N) = P_{norm} N^{-1} \exp \left[-\frac{N}{\langle N \rangle_P} \left(1 - \frac{e^{-N/\langle N \rangle_P}}{2} \right) \right]$$

30

〔但し、積分式 $\int_0^{\infty} N W(N) dN$ は魚の個体数密度に一致する。〕という魚群サイズが従う分布関数で与える手順 B、
 前記実測した群れサイズ分布の規格化データ $\{ (N_i, W_i) \mid i = 1, 2, \dots, n \}$ について、群れサイズ分布関数

【式 6】

$$W_i = \theta_1 N_i^{-1} \exp \left[-\frac{N_i}{\theta_2} \left(1 - \frac{e^{-N_i/\theta_2}}{2} \right) \right] + \varepsilon_i$$

$$(i = 1, 2, \dots, n)$$

40

をパラメータ θ_2 において非線形な回帰モデルとして、前記式 5 を推定すべき母集団の初期分布に設定して回帰分析を行い、パラメータ θ_1 として与えられる規格化因子の最小二乗推定値 $\hat{\theta}_1$ 、及び、パラメータ θ_2 として与えられる魚群の平均サイズの最小二乗推定値 $\hat{\theta}_2$ を標準誤差 $se(\hat{\theta}_2)$ とともに求め、この最小二乗推定値 $\hat{\theta}_2$ に対する前記標準誤差 $se(\hat{\theta}_2)$ の割合を推定結果の精度評価となる変動係数 $CV(\%)$ として求める手順 C、

前記最小二乗推定値 $\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_2$ を前記式 6 に代入し歪みを修正した群れサイズ分布関数 W_{re} (N) を用いて、単位領域の魚総数となる、資源密度のバイアスを修正した点推定値 S を

【式 7】

50

$$S = \int_0^{\infty} NW_{re}(N)dN = \int_0^{\infty} \Theta_1 \exp\left[-\frac{N}{\Theta_2}\left(1 - \frac{e^{-N/\Theta_2}}{2}\right)\right] dN$$

により求め、バイアスの推定値を、 $S - \sum_{i=1}^n N_i W_i$ 、 N によって求める手順D、
 スチューデントのt分布について、前記実測した魚群サイズ分布のデータ数となる階級数
 n と前記回帰モデルのパラメータ数2の差を $= n - 2$ の式によって求め、このを自由
 度として与え、t分布の片側100×パーセント点であって両側200×パーセ
 ント点、 $t(\quad)$ を計算し、前記浮魚の資源密度の点推定値 S 、前記平均サイズの最小
 二乗推定値 Θ_2 と標準誤差 $se(\Theta_2)$ を用いて、浮魚の資源密度の真値の任意パーセント
 信頼区間

【式8】

$$\left(S - \frac{S}{\Theta_2} t_{\alpha}(v) se(\Theta_2), S + \frac{S}{\Theta_2} t_{\alpha}(v) se(\Theta_2)\right)$$

〔但し、バイアスを修正した真値の100×(1-2)パーセント信頼区間〕を求める
 手順E、

とからなることを特徴とする浮魚資源現存量の区間推定方法。

【請求項3】

請求項2記載の手順A、手順B、手順C、手順D、及び、手順Eを実行して求めた浮魚の
 資源密度のバイアスを修正した点推定値に、漁場の面積あるいは浮魚の調査海域の面積を
 掛けて所定の漁場あるいは海域の浮魚資源現存総量のバイアスを修正した点推定値 S_{tot}
 を求める手順F、

請求項2記載の手順A、手順B、手順C、手順D、及び、手順Eを実行して求めた標準誤
 差に基づいて、所定の漁場あるいは海域の浮魚資源現存総量のバイアスを修正した真値の
 任意パーセント信頼区間を求める手順G、

とからなることを特徴とする請求項2記載の浮魚資源現存量の区間推定方法。

【請求項4】

集群性魚群に関する実測データが従う群れサイズ分布関数を用いて回帰分析を行い、この
 分析結果と魚の個体数密度との関係式を用い、対象海域のバイアスを修正した浮魚資源現
 存量指標を信頼区間とともに求める浮魚資源現存量の区間推定処理をコンピュータに実行
 させるプログラムであって、コンピュータに請求項1記載の手順A、手順B、手順C、手
 順D、手順E、及び、手順Fを実行させるためのプログラム。

【請求項5】

集群性魚群に関する実測データが従う群れサイズ分布関数を用いて回帰分析を行い、この
 分析結果と魚の個体数密度との関係式を用い、対象海域のバイアスを修正した浮魚資源密
 度を信頼区間とともに求める浮魚資源現存量の区間推定処理をコンピュータに実行させる
 プログラムであって、コンピュータに請求項2記載の手順A、手順B、手順C、手順D、
 及び、手順Eを実行させるためのプログラム。

【請求項6】

集群性魚群に関する実測データが従う群れサイズ分布関数を用いて回帰分析を行い、この
 分析結果と魚の個体数密度との関係式を用い、対象海域のバイアスを修正した浮魚資源総
 量を信頼区間とともに求める浮魚資源現存量の区間推定処理をコンピュータに実行させる
 プログラムであって、コンピュータに請求項3記載の手順F、及び、手順Gを実行させる
 ためのプログラム。

【請求項7】

集群性魚群に関する実測データが従う群れサイズ分布関数を用いて回帰分析を行い、この
 分析結果と魚の個体数密度との関係式を用い、対象海域のバイアスを修正した浮魚資源現
 存量指標を信頼区間とともに求める浮魚資源現存量の区間推定処理プログラムを記録した
 記録媒体であって、コンピュータに請求項1記載の手順A、手順B、手順C、手順D、手

順 E、及び、手順 F を実行させるためのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【請求項 8】

集群性魚群に関する実測データが従う群れサイズ分布関数を用いて回帰分析を行い、この分析結果と魚の個体数密度との関係式を用い、対象海域のバイアスを修正した浮魚資源密度を信頼区間とともに求める浮魚資源現存量の区間推定処理プログラムを記録した記録媒体であって、コンピュータに請求項 2 記載の手順 A、手順 B、手順 C、手順 D、及び、手順 E を実行させるためのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【請求項 9】

集群性魚群に関する実測データが従う群れサイズ分布関数を用いて回帰分析を行い、この分析結果と魚の個体数密度との関係式を用い、対象海域のバイアスを修正した浮魚資源総量を信頼区間とともに求める浮魚資源現存量の区間推定処理プログラムを記録した記録媒体であって、コンピュータに請求項 3 記載の手順 F、及び、手順 G を実行させるためのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、任意の海域における上層の集群性魚類の量を推定するための浮魚資源現存量の区間推定方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来から、魚群の観測データに基づいて漁業資源現存量あるいは資源密度の推定は行なわれているが、一般には点推定に留まり、その推定値の信頼区間を同時に評価する区間推定は通常行なわれていない。

【0003】

これは海洋調査手法からの制約で、ランダムサンプリングが行なわれなかったためである。

【0004】

調査船による通常の海洋観測では等間隔で平行に観測線を設定し、その定線に従って航走しながら魚群観測を行なっている（例えば、非特許文献 1 参照）。このため、ランダムサンプリング法による漁業資源現存量の区間推定を行なうことはできない。

【0005】

また、漁業統計（この場合は集群性浮魚類を対象とするまき網漁業による漁獲データ）を用いて資源現存量の推定が行なわれている（例えば、非特許文献 2 参照）。漁業統計による資源量推定ではそのオーダーに意味があり、これを資源現存量の指標とし、年毎の相対資源量水準を比較しているが、推定値の信頼性については評価できない。

【0006】

ところで、前記の観測あるいは漁業による魚群データ、ただ 1 組の標本に基づいて、ブートストラップ法に代表されるリサンプリング法を導入し、未知の母集団分布を経験分布で推定することにより、資源現存量の区間推定も可能である（例えば、非特許文献 3 参照）。欠点は、コンピュータによる計算処理時間が膨大なこと、リサンプリングの回数あるいはコンピュータが生成する乱数によって信頼区間が違ってくるということである。また、もし、母集団が従う分布関数形など特性を知っていれば、「母集団分布を経験分布で置き換える」という処方はいくらも必要ない。

一方、空間統計学、特にクリギングの手法を導入し、魚群の定線観測データから資源現存量の区間推定が行なわれている（例えば、非特許文献 1 参照）。この手法ではデータの空間的相関にある特定の関数形を仮定するが、これは経験的あるいは試行錯誤的になされている。したがって、相関関数の選び方は恣意性が入り込み易く、場合によっては、資源現存量推定値の信頼区間が異なってくるといった重大な欠点を持つ。

さらに、調査船における計測においては魚群の調査船からの逃避・散逸など、漁業統計においては魚群サイズの人為的選択漁獲などに起因し、魚群サイズデータは母集団分布を正

10

20

30

40

50

確に反映していないことが予想される。このようなデータの分布には歪みがあり、平均値にはその真値からのバイアスが存在する。データ計測時の不測の事態あるいは人為的操作によって生じたこのような系統的でないバイアスは、ブートストラップ法を含め、母集団が従う自然法則を利用しない、従来の漁業資源現存量推定のための統計学的処理では修正することができない。このため、ノンパラメトリックな統計学的処理によって行なった区間推定においては、その点推定値に取り除くことができないバイアスが繰り込まれてしまうという致命的な弱点を持つ。

【0007】

【非特許文献1】

本田聡，資源研究の現場から(13)：新しい現存量の区間推定方法「Geostais t i c s」とは何か 水産の研究 16(2)，50-53(1997)。

【0008】

【非特許文献2】

T. Wada & Y. Matsumiya, Abundance index in purse seine fishery with searching time. 日本水産学会誌 56, 725-728(1990)。

【0009】

【非特許文献3】

平松一彦，Bootstrap法による信頼区間とバイアスの推定．遠洋水研ニュース No. 94, 2-6(1994)。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】

海洋上層を遊泳する魚種、いわゆる浮魚類の多くは集群性を有する。特に、漁業の対象とする有用魚種は全て群れを形成する。魚群の計測によってその海域に來遊してきた魚の数を推定することは、経済的に重要であるだけでなく、自然保護の観点からも重要である。

【0011】

しかし、バイアスを修正した浮魚資源現存量の推定とその現存量推定値の信頼区間を、経験的あるいは試行錯誤的手法ではなく、また、恣意性が入り込む余地なく正確に求めることは容易ではない。コンピュータによる計算処理に膨大な時間も要求される。

【0012】

本発明の目的は、ランダムサンプリングを必要とせず、また、経験的あるいは試行錯誤的な仮定を設けることなく、魚群が従うサイズ分布に関する自然法則に基づいてバイアスを修正した浮魚資源現存量の区間推定を行なう方法、通常のコンピュータを用い極めて短時間の内にその計算処理を行なうためのプログラム及び記録媒体を提供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】

本発明は、上記課題を達成するために、以下の解決手段を採用する。

本発明は、浮魚の群れなど集群性魚群に関する実測データ、サイズNの魚群の計測度数Wが従う群れサイズ分布関数

【0014】

【式9】

$$W(N) \propto N^{-1} \exp \left[-\frac{N}{\langle N \rangle_p} \left(1 - \frac{e^{-N/\langle N \rangle_p}}{2} \right) \right]$$

【0015】

を用いて調査海域における平均群れサイズ N_p の回帰分析を行なうことによってサイズ分布データの歪みを修正し、この分析結果と、浮魚の単位面積当り個体数、つまり個体数密度、魚群の分裂確率p、及び、前記平均群れサイズ N_p との間に成り立つ関係式

10

20

30

40

50

【0016】

【式10】

$$\frac{\rho}{p} \propto \langle N \rangle_p$$

【0017】

すなわち、平均群れサイズが浮魚資源密度に比例するという関係式を用い、対象海域の浮魚資源密度、現存総量、あるいは資源量指標のバイアスを修正した推定値を信頼区間とともに求める、浮魚資源現存量の区間推定方法に基本的な特徴を有する。

本発明は、取得データを特定しない解決手段として下記の方法を含む。

10

(1) 浮魚資源現存量の区間推定方法において、

集群性を有する浮魚に関して、測定海域における予め設定した航路に沿って実測した魚群サイズの頻度分布など、魚群の数密度が算出できるデータに加え、まき網漁業など群れを漁獲の単位とする漁法による一投網毎の漁獲量より求めた群れサイズ等、魚群の数密度を算出できないデータを含め、実測した魚群サイズ(群れの構成尾数)の階級別に度数集計した頻度分布データ、すなわち、 N を階級幅とし階級値 N_i における群れの計測数を W_i 、 N としたとき($i = 1, 2, \dots, n$)、その1組 $\{(N_1, W_1'), (N_2, W_2'), \dots, (N_n, W_n')\}$ 〔但し、 $N_i = (i - 0.5) N$ で n は頻度分布の階級数〕から、任意のある1つの魚が属する群れサイズの期待値となる平均群れサイズ N_p を

【0018】

20

【式11】

$$\langle N \rangle_p = \frac{\sum_{i=1}^n N_i^2 W_i'}{\sum_{i=1}^n N_i W_i'}$$

【0019】

により与える手順A、

(上記式11は、データが魚群サイズの階級別度数集計した頻度分布データ $\{(N_i, W_i') \mid i = 1, 2, \dots, n\}$ として与えられていれば、式自体は平均値を求める式として普通の式である。)

30

実測した群れサイズの頻度分布データについて、平均群れサイズ N_p で下記式

【0020】

【式12】

$$W_i = \frac{\langle N \rangle_p W_i'}{\sum_{j=1}^n N_j W_j' \Delta N}$$

($i = 1, 2, \dots, n$)

40

【0021】

により群れの計測総数から平均サイズへ規格化を変更し、群れサイズ分布データ $\{(N_1, W_1), (N_2, W_2), \dots, (N_n, W_n)\}$ 〔但し、 W はサイズ N の魚群数(規格化された相対度数)〕を取り込む手順B、

(上記式12は、データが魚群サイズの頻度分布データ $\{(N_i, W_i') \mid i = 1, 2, \dots, n\}$ として与えられていれば、式自体は群れの計測総数から平均サイズへ規格化を変更する式として普通の式である。)

前記、所定の海域で実測した群れの平均サイズ N_p により魚群サイズが従う母集団分

50

布の規格化因子 P_{norm} を

【 0 0 2 2 】

【 式 1 3 】

$$P_{norm} = \frac{\langle N \rangle_P}{\int_0^{\infty} \exp \left[-\frac{N}{\langle N \rangle_P} \left(1 - \frac{e^{-N/\langle N \rangle_P}}{2} \right) \right] dN}$$

【 0 0 2 3 】

10

により求め、

(上記式 1 3 は、適切な頻度分布を表すように、前記データ $\{ (N_i, W_i) \mid i = 1, 2, \dots, n \}$ の規格化、すなわち、平均群れサイズに一致するサイズ分布関数の規格化因子を求める式として自明の式である。)

浮魚資源特性を

【 0 0 2 4 】

【 式 1 4 】

$$W(N) = P_{norm} N^{-1} \exp \left[-\frac{N}{\langle N \rangle_P} \left(1 - \frac{e^{-N/\langle N \rangle_P}}{2} \right) \right]$$

20

【 0 0 2 5 】

(但し、積分式 $\int_0^{\infty} N W(N) dN$ は平均群れサイズに一致する。)

という魚群サイズが従う分布関数で与える手順 C、

前記群れサイズ分布の規格化データ $\{ (N_i, W_i) \mid i = 1, 2, \dots, n \}$ について、群れサイズ分布関数

【 0 0 2 6 】

【 式 1 5 】

$$W_i = \theta_1 N_i^{-1} \exp \left[-\frac{N_i}{\theta_2} \left(1 - \frac{e^{-N_i/\theta_2}}{2} \right) \right] + \varepsilon_i$$

30

($i = 1, 2, \dots, n$)

【 0 0 2 7 】

をパラメータ θ_2 において非線形な回帰モデルとして、前記式 1 4 を推定すべき母集団の初期分布、すなわち、前記式 1 3 の規格化因子 P_{norm} 及び前記式 1 1 の平均群れサイズ N_p を、それぞれ、群れサイズ分布関数のパラメータ θ_1 及び θ_2 の初期値に設定し回帰分析を行い、パラメータ θ_1 として与えられる規格化因子の最小二乗推定値 $\hat{\theta}_1$ 、及び、パラメータ θ_2 として与えられる魚群の平均サイズの最小二乗推定値 $\hat{\theta}_2$ を標準偏差すなわち標準誤差 $se(\hat{\theta}_2)$ とともに求め、回帰分析による推定結果の精度評価として変動係数 $CV(\%) [= \text{標準誤差} \div \text{点推定値}]$

40

【 0 0 2 8 】

【 式 1 6 】

$$CV = \frac{se(\hat{\theta}_2)}{\hat{\theta}_2} \times 100$$

【 0 0 2 9 】

(データが求めれば、式 1 6 自体は普通の変動係数(パーセント表示)を求める式である)を求める手順 D、

50

前記、実測した群れサイズ分布の規格化データ $\{(N_i, W_i) \mid i = 1, 2, \dots, n\}$ により回帰分析を行なって求めたパラメータの最小二乗推定値 θ_1 、 θ_2 を代入し歪みを修正した群れサイズ分布関数 $W_{re}(N)$

【0030】

【式17】

$$W_{re}(N) = \theta_1 N^{-1} \exp\left[-\frac{N}{\theta_2} \left(1 - \frac{e^{-N/\theta_2}}{2}\right)\right]$$

【0031】

(上記式17は、前記式13の規格化因子 P_{norm} 及び前記式11の平均群れサイズ N_p の代わりに、式15の回帰分析で求まる最小二乗推定値 θ_1 及び θ_2 を代入したもので、回帰分析によりパラメータ θ_1 及び θ_2 が既に求まっている場合、最小二乗推定 θ_1 及び θ_2 を代入するだけで求まる。)

を用い、浮魚の資源現存量指標のバイアスを修正した点推定値 S (これは魚の個体数密度に比例する) を

【0032】

【式18】

$$S = \int_0^{\infty} N W_{re}(N) dN = \int_0^{\infty} \theta_1 \exp\left[-\frac{N}{\theta_2} \left(1 - \frac{e^{-N/\theta_2}}{2}\right)\right] dN$$

【0033】

により求め、バイアスの推定値を

【0034】

【式19】

$$S - \sum_{i=1}^n N_i W_i \Delta N$$

【0035】

によって求める手順E、

ステューデントの t 分布について、前記実測した魚群サイズ分布のデータ数となる階級数 n と前記回帰モデルのパラメータ数2の差 ($= n - 2$) によって自由度 ν を与え、 t 分布の片側 $100 \times \alpha$ パーセント点 (したがって、両側 $200 \times \alpha$ パーセント点)、 $t_{\alpha}(\nu)$ を計算し、前記平均サイズの最小二乗推定値 θ_2 と標準誤差 $se(\theta_2)$ から θ_2 の信頼区間を構成し、また、浮魚の資源現存量指標と平均サイズとの間に成立する比例関係の比例係数を S / θ_2 によって求め、前記式10により S の信頼区間は θ_2 のそれに比例するので、この比例計数を θ_2 の信頼区間に乗ずることによって、資源現存量指標の任意パーセント信頼区間

【0036】

【式20】

$$\left(S - \frac{S}{\theta_2} t_{\alpha}(\nu) se(\theta_2), S + \frac{S}{\theta_2} t_{\alpha}(\nu) se(\theta_2)\right)$$

【0037】

(但し、バイアスを修正した真値の $100 \times (1 - 2\alpha)$ パーセント信頼区間) を求める手順F、

とからなることを特徴とする。

さらに、本発明は、取得データを特定する解決手段として下記の方法を含む。

(2) 浮魚資源現存量の区間推定方法において、

10

20

30

40

50

集群性を有する浮魚に関して、測定海域における予め設定した航路に沿って実測した群れサイズ（群れの構成個体数） N の階級別に度数集計した頻度分布データ W について、魚群の数密度により規格化し、実測した群れサイズ分布データを取り込む手順A、前記、所定の海域で実測した群れサイズの階級別に度数集計した頻度分布を単位面積当り魚群数で規格化したデータ、すなわち、 N を階級幅とし階級値 N_i における群れの単位面積当り計測数を W_i N としたとき（ $i = 1, 2, \dots, n$ ）、その1組 $\{(N_1, W_1), (N_2, W_2), \dots, (N_n, W_n)\}$ 〔但し、 $N_i = (i - 0.5) N$ で n は頻度分布の階級数〕を用い、任意のある1つの魚が属する群れサイズの期待値となる平均群れサイズ $\langle N \rangle_P$ 、及び、魚群サイズが従う母集団分布の規格化因子 P_{norm} を、それぞれ

【0038】

【式21】

$$\langle N \rangle_P = \frac{\sum_{i=1}^n N_i^2 W_i}{\sum_{i=1}^n N_i W_i}$$

10

【0039】

（上記式21は、データが魚群サイズの階級別度数集計した頻度分布データ $\{(N_i, W_i) \mid i = 1, 2, \dots, n\}$ として与えられていれば式自体は平均値を求める式として普通の式である。）

20

および、

【0040】

【式22】

$$P_{norm} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i W_i \Delta N}{\int_0^{\infty} \exp\left[-\frac{N}{\langle N \rangle_P} \left(1 - \frac{e^{-N/\langle N \rangle_P}}{2}\right)\right] dN}$$

30

【0041】

（上記式22は、適切な頻度分布を表すように、前記データ $[(N_i, W_i) \mid i = 1, 2, \dots, n]$ の規格化、すなわち、魚の個体数密度に一致するサイズ分布関数の規格化因子を求める式として自明の式である。）

によって求め、浮魚資源特性を

【0042】

【式23】

$$W(N) = P_{norm} N^{-1} \exp\left[-\frac{N}{\langle N \rangle_P} \left(1 - \frac{e^{-N/\langle N \rangle_P}}{2}\right)\right]$$

40

【0043】

〔但し、積分式 $\int_0^{\infty} N W(N) dN$ は魚の個体数密度に一致する。〕

という魚群サイズが従う分布関数で与える手順B、

前記実測した群れサイズ分布の規格化データ $\{(N_i, W_i) \mid i = 1, 2, \dots, n\}$ について、群れサイズ分布関数

【0044】

【式24】

$$W_i = \theta_1 N_i^{-1} \exp \left[-\frac{N_i}{\theta_2} \left(1 - \frac{e^{-N_i/\theta_2}}{2} \right) \right] + \varepsilon_i$$

$(i = 1, 2, \dots, n)$

【0045】

をパラメータ₂において非線形な回帰モデルとして、前記式23を推定すべき母集団の初期分布、すなわち、前記式22の規格化因子 P_{n_o,r_m} 及び前記式21の平均群れサイズ N_p を、それぞれ、群れサイズ分布関数のパラメータ₁及び₂の初期値に設定し回帰分析を行い、パラメータ₁として与えられる規格化因子の最小二乗推定値₁、及び、パラメータ₂として与えられる魚群の平均サイズの最小二乗推定値₂を標準偏差すなわち標準誤差 $se(\theta_2)$ とともに求め、回帰分析による推定結果の精度評価として変動係数 $CV(\%) [= \text{標準誤差} \div \text{点推定値}]$

10

【0046】

【式25】

$$CV = \frac{se(\theta_2)}{\theta_2} \times 100$$

20

【0047】

(データが求めれば、式25自体は普通の変動係数(パーセント表示)を求める式である)を求める手順C、

前記、実測した群れサイズ分布の規格化データ $\{(N_i, W_i) \mid i = 1, 2, \dots, n\}$ により回帰分析を行なって求めたパラメータの最小二乗推定値₁、₂を代入し歪みを修正した群れサイズ分布関数 $W_{re}(N)$

【0048】

【式26】

$$W_{re}(N) = \theta_1 N^{-1} \exp \left[-\frac{N}{\theta_2} \left(1 - \frac{e^{-N/\theta_2}}{2} \right) \right]$$

30

【0049】

(上記式26は、前記式22の規格化因子 P_{n_o,r_m} 及び前記式21の平均群れサイズ N_p の代わりに、式24の回帰分析で求まる最小二乗推定値₁及び₂を代入したもので、回帰分析によりパラメータ₁及び₂が既に求まっている場合、最小二乗推定₁及び₂を代入するだけで求まる。)

を用い、浮魚の資源密度のバイアスを修正した点推定値 S (単位領域における魚の総数を意味する)を

【0050】

【式27】

$$S = \int_0^{\infty} N W_{re}(N) dN = \int_0^{\infty} \theta_1 \exp \left[-\frac{N}{\theta_2} \left(1 - \frac{e^{-N/\theta_2}}{2} \right) \right] dN$$

40

【0051】

により求め、バイアスの推定値を

【0052】

【式28】

$$S - \sum_{i=1}^n N_i W_i \Delta N$$

【 0 0 5 3 】

によって求める手順 D、

ステューデントの t 分布について、前記実測した魚群サイズ分布のデータ数となる階級数 n と前記回帰モデルのパラメータ数 2 の差 (= n - 2) によって自由度 を与え、t 分布の片側 1 0 0 × パーセント点 (したがって、両側 2 0 0 × パーセント点)、t () を計算し、前記平均サイズの最小二乗推定値 $\hat{\mu}_2$ と標準誤差 $se(\hat{\mu}_2)$ から $\hat{\mu}_2$ の信頼区間を構成し、また、浮魚の資源密度と平均サイズとの間に成立する比例関係の比例係数を $S / \hat{\mu}_2$ によって求め、前記式 1 0 により S の信頼区間は $\hat{\mu}_2$ のそれに比例するので、この比例計数を $\hat{\mu}_2$ の信頼区間に乗ずることによって、資源密度の任意パーセント信頼区間

【 0 0 5 4 】

【式 2 9】

$$\left(S - \frac{S}{\hat{\mu}_2} t_{\alpha}(\nu) se(\hat{\mu}_2), S + \frac{S}{\hat{\mu}_2} t_{\alpha}(\nu) se(\hat{\mu}_2) \right)$$

【 0 0 5 5 】

〔但し、バイアスを修正した真値の 1 0 0 × (1 - 2) パーセント信頼区間〕を求める手順 E、

とからなることを特徴とする。

本発明は、所定の漁場あるいは海域を対象とした解決手段として下記の方法を含む。

(3) 前記 (2) 記載の浮魚資源現存総量の区間推定方法において、

上記 (2) 記載の手順 A、手順 B、手順 C、手順 D、及び、手順 E を実行させて求めた浮魚の資源密度のバイアスを修正した点推定値に、漁場の面積あるいは浮魚の調査海域の面積を掛けて所定の漁場あるいは海域の浮魚資源現存総量のバイアスを修正した点推定値 S_{tot} を求める手順 F、

ステューデントの t 分布について、前記魚群サイズ分布のデータ数となる階級別度数集計した頻度分布の階級数 n と上記 (2) 記載の回帰モデルのパラメータ数 2 の差 (= n - 2) によって自由度 を与え、t 分布の片側 1 0 0 × パーセント点 (したがって、両側 2 0 0 × パーセント点)、t () を計算し、前記浮魚の資源現存総量の点推定値 S_{tot} 、上記 (2) 記載の手順により求めた平均魚群サイズの最小二乗推定値 $\hat{\mu}_2$ と標準誤差 $se(\hat{\mu}_2)$ を用いて、バイアスを修正した浮魚資源現存総量の任意パーセント信頼区間

【 0 0 5 6 】

【式 3 0】

$$\left(S_{tot} - \frac{S_{tot}}{\hat{\mu}_2} t_{\alpha}(\nu) se(\hat{\mu}_2), S_{tot} + \frac{S_{tot}}{\hat{\mu}_2} t_{\alpha}(\nu) se(\hat{\mu}_2) \right)$$

【 0 0 5 7 】

〔但し、浮魚資源現存総量の真値の 1 0 0 × (1 - 2) パーセント信頼区間〕(上式 3 0 自体は前記 (2) 記載の手順 E の式 2 9 に与えた資源密度の信頼区間から自明の式となる。)

を求める手順 G、

とからなることを特徴とする。

(4) 本発明は、前記 (1) ~ (3) 記載の浮魚資源現存量の区間推定方法を実行するために解決手段として下記のプログラムを含む。

集群性魚群に関する実測データが従う群れサイズ分布関数を用いて回帰分析を行い、この

分析結果と魚の個体数密度との関係式を用い、対象海域の浮魚資源密度等を信頼区間とともに求める浮魚資源現存量の区間推定処理をコンピュータに実行させるプログラムであって、コンピュータに上記(1)乃至(3)のいずれか1項記載の各手順をすべて実行させるプログラムを特徴とする。

(5)本発明は、前記(1)～(3)記載の浮魚資源現存量の区間推定方法を実行するために解決手段として下記のプログラムを記録した記録媒体を含む。

集群性魚群に関する実測データが従う群れサイズ分布関数を用いて回帰分析を行い、この分析結果と魚の個体数密度との関係式を用い、対象海域の浮魚資源密度等を信頼区間とともに求める浮魚資源現存量の区間推定処理プログラムを記録した記録媒体であって、コンピュータに上記(1)乃至(3)のいずれか1項記載の各手順をすべて実行させるためのプログラムを記録した記録媒体を特徴とする。 10

【0058】

【発明の実施の形態】

以下、まず、観測データの傾向を確認し、本発明に係る浮魚の群れが従うサイズ分布に関する自然法則を導出し、その魚群サイズに関する自然法則を応用し、魚群の実測データについて魚群サイズ分布関数を回帰モデルとする回帰分析を行なうことにより、浮魚資源現存量の区間推定を行なう方法を順次説明する。

〔1〕まず、観測(実測)データの特徴を確認する。実測データの出典は(参考文献)として後に記す。

【0059】

図3は、両対数スケールの群れサイズ分布を表し、群れサイズは下記式のように階級別度数集計してある。 20

【0060】

【式31】

$\{(N_i, W_i) | \text{階級幅を } \Delta N \text{ とする階級 } (i-1)\Delta N \sim i\Delta N \text{ の範囲の}$

計測魚群数を $W_i\Delta N$ とし、その階級値は $N_i = (i-0.5)\Delta N$ 、

但し $i=1,2,\dots,n$ で階級数は n }

【0061】

データは黒点で示す。実線はサイズ分布の理論曲線を示し、これは後述する。 30

【0062】

図3(a)は、マグロ類 [yellowfin tuna (Thunnus albacares), skipjack tuna (Katsuwonus pelamis), および bigeye tuna (Thunnus obesus)] を対象としている。データは漁業統計により、Bonabeau and Dagorn (1995) から引用した。マグロ魚群は旋網により漁獲され、一網で漁獲された量(トン数)を群れサイズとする。任意のある1つの魚が属する群れサイズの期待値となる平均群れサイズは $N_p = 11.7$ である。

【0063】

図3(b)は、流木等、魚群の誘引体の近辺で漁獲されたマグロ類。データは漁業統計により、Bonabeau et al. (1999) から引用した。平均群れサイズは $N_p = 4.80$ である。 40

【0064】

図3(c)は、カタクチイワシ Northern anchovy (Engraulis mordax) [他に、jack mackerel (Trachurus symmetricus), Pacific bonito (Sarda chiliensis), Pacific mackerel (Scomber japonicus), および Pacific sardine (Sardinops sagax) を含む] を対象とする。データは Anderson (1981) による。群れの個体数サイズは 50

$N = 0 \sim 50$ の範囲にスケールし、階級幅 $N = 1$ で度数集計した。平均群れサイズは $N_p = 15.7$ である。

【0065】

図3(d)は、マイワシ *Japanese sardine* (*Sardinops melanosticta*) を対象としている。データは Hara (1983, 1984, 1986) による。ただし、魚群探知機により観測した魚群の寸法サイズ R は、 $R \propto N^{0.5}$ の関係式により構成尾数 N に換算し、群れの尾数サイズを $N = 0 \sim 50$ の範囲にスケールし階級幅 $N = 2$ で度数集計した。換算式は参考文献記載の Misund (1993)、Niwa (1995)、及び、Misund & Coetzee (2000) によった。平均群れサイズは $N_p = 10.6$ である。

10

【0066】

図3(a)では、測定データと併せて示した実線が、群れサイズが10以下の部分で傾き -1 近辺をとるが、群れサイズが10を越える部分では傾きが -1 から外れてしまう。この原因は資源量(魚の総個対数)が有限なので群れサイズが大きい部分で -1 から外れてくるためと考えられている。

【0067】

この点を考慮すると、資源量の制約を外すと、測定データと併せて示した実線はその傾きが -1 近辺の値をとるものといえる。

【0068】

図3(b)の特性も図3(a)の特性と同様のことがいえる。

20

【0069】

図3(c)の特性及び図3(d)の特性も、図3(a)の特性と同様のことがいえる。

【0070】

実測データは、群れサイズ分布特性が全てのデータセットにおいてほとんど同様の特性を表す。

【0071】

このことから、特性が同じようになる群れサイズ分布を導く魚群ダイナミクスが求められ、これにより普遍的な群れサイズ分布を自然法則として説明することが期待される。

〔2〕 上記の実測データの傾向を適切に表すように、即ち、極めてまとまって収束される特性を表すように、魚群ダイナミクスは単純なもの、「衝突すると合併し、一定の確率でランダムな大きさに二分裂する」魚群ダイナミクスを考える。

30

【0072】

まず、魚群の平均直径 b を長さの単位とし、漁場領域を格子状に粗視化・分割し、格子間隔を b として魚群の種々の行動パターンを表示する格子モデルにより魚群ダイナミクスを数値的に解析し、魚群サイズ分布のシミュレーションを行なう。

【0073】

図4は移動(回遊) - 合併 - 分裂を行う前記格子モデルを示す。この格子モデルにおける魚群システムは、以下の要件を満足する。

(a) 各格子サイトには高々1つの群れ

(b) 単位時間ステップで群れは格子サイト間を移動する

40

(c) 同一サイトに移動した群れは合併する

(d) 群れは大きさによらず単位時間当たり確率 p で二分裂する (ただし $N \geq 2$)

このモデルにおける群れの行動パターンは以下の回遊・合併・分裂の三つに大別される。

(1) 群れが異なる格子点へ移動する回遊

(2) 異なる格子点にいるサイズ N (l^{th} site) の群れとサイズ N (m^{th} site) の群れが同じ格子点 (n^{th} site) に移動し合わさってサイズ N (n^{th} site) [$= N$ (l^{th} site) + N (m^{th} site)] の群れとなる合併

(3) サイズ N (k^{th} site) の群れが N' と N (k^{th} site) - N' の群れに分離し、 h 番目の格子点 (h^{th} site) にサイズ N (h^{th} site) [$= N'$] の群れと k 番目の格子点 (k^{th} site) にサイズ N (k^{th} site) - N' の群れの2つの群れ

50

に分裂

図5は、移動(回遊) - 合併 - 分裂モデルを表し、魚の総数(ポピュレーション サイズ (pop. size) : $P = 1200$)は変わらないとし、単位時間ステップあたり分裂確率(breakup prob) p を $p = 0.02$ とした場合の、所定時間ステップ後の状態を表している。但し、空間構造は考えていない。

【0074】

図5の横軸 X 及び縦軸 Y はある座標位置上の基準点すなわち原点 $(0, 0)$ からの距離を表す。

【0075】

図5全体で、ある海域を四角に切り取った領域を格子状に $s = 200 \times 200$ 分割(図示していないが格子点数は $s = 40,000$)し、その格子点における群れの大きさを()で表してある。

【0076】

魚群の来遊域(漁場)を空間的に粗視化した格子モデルでは魚の数密度 ρ は

【0077】

【式32】

$$\rho = \frac{P}{s}$$

【0078】

で与えられる。

【0079】

図5では粗視化された数密度は $\rho = 0.03$ となる。

【0080】

前記格子モデルを用い、コンピュータ・シミュレーションを行なった時、所定時間ステップ後の群れサイズ分布は図6のようになる。

【0081】

図6は、魚群の行動する空間を粗視化した格子モデルを用いたシミュレーション結果を、両対数目盛のグラフで表したものである。図6において、シミュレーション結果は点で表してある。シミュレーションによる魚群サイズの頻度分布では整数のデータをそのまま集計してある(階級幅 $N = 1$)。なお、破線は後で述べる確率微分方程式モデルによる魚群サイズの定常分布の理論曲線を表す。

【0082】

シミュレーション(a) : 図6(a)は、総個体数 P を変化させたときの群れサイズ分布 $W(N)$ の変化を表す。

シミュレーションの設定は、魚の総個体数 $P = 2^{14}$ ()、 2^{15} () ; 但し、四角は黒く塗りつぶしてある)、 2^{16} ()、 2^{17} ()、 2^{18} () と変え、魚群の分裂確率 $p = 0.02$ 、格子モデルの格子点数 $s = 2^{18}$ 、シミュレーション回数 = 2^{21} 時間ステップとした。

実線は傾き(slope) - 1を示す。

シミュレーション結果としては、魚の総個体数 P が変わっても、群れサイズ分布は同じ傾向を示すといえる。群れサイズが大きくなると、サイズ分布は指数 - 1 のベキ則から外れて、急激に減少する。このとき、ベキから急減少への分布のクロスオーバーの群れサイズは、魚の総個体数 P が大きくなるにつれ、大きくなる。

【0083】

シミュレーション(b) : 図6(b)は、分裂確率 p を変化させたときの群れサイズ分布 $W(N)$ の変化を表す。

シミュレーションの設定は、魚の総個体数 $P = 2^{17}$ 、分裂確率 $p = 0.01$ ()、 0.02 ()、 0.03 ()、 0.04 ()、 0.1 () と変え、格子モデルの格子点数 $s = 2^{18}$ 、シミュレーション回数 = 2^{21} 時間ステップとした。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 4 】

実線は傾き (s l o p e) - 1 を示す。

【 0 0 8 5 】

シミュレーション結果としては、分裂確率が変わっても、群れサイズ分布は同じ傾向を示すといえる。群れサイズが大きくなると、サイズ分布は指数 - 1 のベキ則から外れて、急激に減少する。このとき、ベキから急減少への分布のクロスオーバーの群れサイズは、魚群の分裂確率 p が小さくなるにつれ、大きくなる。

【 0 0 8 6 】

このことから、上記シミュレーション方法の実施結果は、前記図 3 に示した実測データの特性に極めて良く似ている。従って、上記シミュレーション方法は実測データに則し、有効であることがわかる。 10

〔 3 〕次に、前記シミュレーション結果を理論的に示す関数式を求める。

すなわち、魚群ダイナミクスを理論的に定式化し、魚群サイズ分布の関数形を明らかにする。これは、前記格子モデルの変数 (時間及び群れサイズ) を連続変数化して導出する。

【 0 0 8 7 】

まず、前記格子モデルにおける数値シミュレーションで、ある特定の魚個体に注目し、その魚が属する群れの各時間ステップ毎のサイズ (群れサイズの時系列) を追う。図 7 はある魚 A が或る時刻 t にサイズ $N_A(t)$ の群れに所属する状態を表す説明図である。シミュレーション結果の時系列を示すと、例えば図 8 のようになる。

【 0 0 8 8 】

図 8 は、魚総数 (p o p . s i z e , P) を $P = 2^{18}$ 、単位時間ステップあたり分裂確率 (b r e a k u p p r o b , p) を $p = 0.02$ とした条件でのシミュレーションにおける群れサイズ N の時系列を表している。 20

【 0 0 8 9 】

この群れサイズの各離散時間ステップ毎の変化は平均場近似によると下記の確率ダイナミクスによって与えられる。

【 0 0 9 0 】

【 式 3 3 】

$$N(t+1) - N(t) = -\frac{p}{2}N(t) + \rho + \eta(t; N, p, \rho) \quad 30$$

【 0 0 9 1 】

この式 3 3 で右辺第 1 項は分裂による魚群サイズの減少を表し、右辺第 2 項は格子平面上の魚の数密度 ($= P / s$) であり合併による魚群サイズの増加を表す。式 3 3 の右辺第 3 項は群れサイズ変化の確率的変動 (サイズゆらぎ) を表し、その平均は 0 である。

前記式 3 3 を以下により連続変数化する。

【 0 0 9 2 】

【 式 3 4 】

$$N(t+1) - N(t) \rightarrow dN(t) \quad 40$$

$$p \rightarrow p dt$$

$$\rho \rightarrow \frac{p}{2} \langle N \rangle_P dt$$

【 0 0 9 3 】

こうして、以下の伊藤型確率微分方程式を得る。

【 0 0 9 4 】

【 式 3 5 】

$$dN(t) = -\frac{p}{2}(N(t) - \langle N \rangle_P)dt + \sigma(N(t))dB(t)$$

【0095】

前記式35において「 $N(t)$ 」は魚群サイズ(魚の数)、「 p 」は分裂確率(「2」は魚群が2分裂することによる)、「 $\langle N \rangle_p$ 」は平均の魚群サイズ(任意のある1つの魚が属する群れサイズの期待値)、「 $dB(t)$ 」は平均0、分散1の正規確率変数(1次元ブラウン運動過程)、「 $\sigma(N)$ 」は魚群サイズゆらぎの標準偏差を表す。

【0096】

前記式35において、魚群サイズゆらぎの標準偏差項 $\sigma(N)$ をシミュレーションにより確定する。図9では群れサイズ N に対し、シミュレーション1ステップ当りのサイズ変化の分散(Noise)が示してある。シミュレーションによると標準偏差項は、

【0097】

【式36】

$$\sigma(N) = \sqrt{2D} \exp\left(\frac{N}{2\langle N \rangle_p}\right)$$

【0098】

となり(図9の実線)、大きな群れほどサイズゆらぎが大きい。そして、ゆらぎの強度 D は次の揺動散逸関係に従う。

【0099】

【式37】

$$p\langle N \rangle_p^2 = D$$

【0100】

魚群サイズの伊藤型確率微分方程式によると、群れサイズの定常分布は下記式38となる。

【0101】

【式38】

$$W(N) \propto N^{-1} \exp\left[-\frac{N}{\langle N \rangle_p} \left(1 - \frac{e^{-N/\langle N \rangle_p}}{2}\right)\right]$$

【0102】

また、魚群サイズ変化の確率ダイナミクスにおける離散変数を連続化して伊藤型確率微分方程式を導出する際、

【0103】

【式39】

$$\langle N \rangle_p \propto \frac{\rho}{p}$$

【0104】

の関係を得る。すなわち、平均群れサイズ $\langle N \rangle_p$ は浮魚の数密度 ρ と魚群の分裂確率 p の比に比例する。

【0105】

シミュレーションにおいても式39の比例関係は確認される。図10は、横軸が $2/p$ で目盛り、縦軸が平均群れサイズ(P-mean size) $\langle N \rangle_p$ で目盛りされている。図10は、シミュレーション回数が 2^{21} 時間ステップ、分裂確率 $p = 0.02$ 一定で、ポピュレーション密度を $\rho = 0.0625, 0.125, 0.25, 0.5, 1.0$ と変化させたときの特性、および、ポピュレーション密度 $\rho = 0.5$ 一定で、分裂確率を $p = 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.1$ と変化させたときの特性を示す。素視化された空間における魚群行動に対しては図の特性曲線の傾き(slope) 2 になっ

10

20

30

40

50

ている。

【0106】

ところで、群れサイズはベキ分布に従うことが観測されている。

これは図3に示した実測データに裏付けられている。

【0107】

以上の実測データにおいて階級別に度数集計した頻度分布を用いて、平均群れサイズ N_p を定義式

【0108】

【式40】

$$\langle N \rangle_p = \frac{\sum_{i=1}^n N_i^2 W_i}{\sum_{i=1}^n N_i W_i}$$

10

【0109】

により求め、サイズ分布の理論式(式38)に代入し実測データとともにプロットしたものが、図3各図の実線である。このとき、分布関数の規格化因子 P_{norm} は実測データの規格化に合わせた。

【0110】

平均群れサイズ N_p は図中で *P - mean size* と表示してある。図3によると

20

サイズ分布の理論式は実測データに極めて良く一致していることがわかる。

【0111】

図6の両対数グラフに示したシミュレーションによる群れサイズ分布では、各シミュレーション結果から式40により計算した平均群れサイズ N_p をサイズ分布の理論式38に代入した理論分布曲線が破線で表してある。このとき各分布曲線は

【0112】

【式41】

$$\int_0^{\infty} NW(N) dN = P$$

30

【0113】

により規格化されている。

【0114】

図6(a)では破線の目が粗くなるに従い、シミュレーションで設定した魚の総個体数 P は大きくなる。また、図6(b)では破線の目が粗くなるに従い、シミュレーションで設定した群れの分裂確率 p が小さくなる。両図とも実線は傾き (*slope*) - 1 の直線を示す。

【0115】

以上の実測データおよびシミュレーション結果と理論式との比較から、群れサイズ分布は厳密に指数 - 1 のベキ則に従い、ベキ分布から指数関数的減少へのクロスオーバーは平均

40

群れサイズ N_p で起こるといえる。

【0116】

下記の理論式の形から魚群サイズ分布は平均群れサイズ N_p でスケールできることがわかる。

【0117】

【式42】

$$W_i^{(sc)} = \frac{\langle N \rangle_P W_i}{\sum_{j=1}^n N_j W_j \Delta N}$$

($i = 1, 2, \dots, n$; 但し、 n は階級数)

【 0 1 1 8 】

すなわち、

【 0 1 1 9 】

【 式 4 3 】

$$\sum_{i=1}^n N_i W_i^{(sc)} \Delta N = \langle N \rangle_P$$

10

【 0 1 2 0 】

となるように群れサイズの観測頻度を規格化したとき、横軸座標に

【 0 1 2 1 】

【 式 4 4 】

$$x_i = \frac{N_i}{\langle N \rangle_P}$$

($i = 1, 2, \dots, n$)

20

【 0 1 2 2 】

縦座標軸に

【 0 1 2 3 】

【 式 4 5 】

$$W_i^{(sc)} \langle N \rangle_P$$

($i = 1, 2, \dots, n$)

30

【 0 1 2 4 】

をプロットすると、様々な条件の下で観測されたデータセットは、全てただ一つの曲線

【 0 1 2 5 】

【 式 4 6 】

$$W^{(sc)}(x) = 0.881237 x^{-1} \exp \left[-x \left(1 - \frac{e^{-x}}{2} \right) \right]$$

40

【 0 1 2 6 】

の上に乗る。

【 0 1 2 7 】

このとき、スケールされた群れサイズ分布は次のように規格化される。

【 0 1 2 8 】

【 式 4 7 】

$$\sum_{i=1}^n x_i W_i^{(sc)} \langle N \rangle_P \Delta x = 1$$

50

【0129】

但し、 $x = N / N_p$ である。

【0130】

すなわち、図11および図12に示すように群れサイズを平均群れサイズ N_p でスケールして描いた魚群サイズ分布は、海洋環境、年、季節、海域、魚種、資源量が異なるデータセットの如何を問わず、全てただ一つの曲線で表される。

【0131】

図11は、図6(a)及び図6(b)に示した、前記シミュレーション方法によって様々なパラメータ条件を用いて求めた群れサイズ分布を、各平均群れサイズ N_p でスケールした分布を、理論式(式46)とともにプロットした図である。

10

【0132】

図12では、図3(a)、図3(b)及び図3(c)に示した「マグロ」及び「カタクチイワシ」とともに、実測された22のデータセットの「マイワシ」の群れサイズ分布データを、平均群れサイズ N_p でスケールし、理論分布式(式45)とともに両対数グラフにプロットしてある。

データセットは以下のとおりである。実測データの出典は(参考文献)として後に記す。

【0133】

() : マイワシ。データは原(1990)による。() : マグロ類。データは漁業統計により、Bonabeau and Dagorn(1995)から引用した。() : マグロ類。データは漁業統計により、Bonabeau et al.(1999)から引用した。() : カタクチイワシ。データはAnderson(1981)による。

20

【0134】

図12の「マイワシ」の群れサイズ分布は、魚群探知機により計測した魚群の寸法サイズ(垂直厚さ)を $R = 0 \sim 20$ mの範囲で調査航海毎に階級別集計した頻度分布データセット(図13)を、 $R \sim N^{0.5}$ の関係式により1群当たりの構成尾数 N に換算し、個体数サイズは $N = 0 \sim 50$ の範囲にスケールし階級幅 $N = 2$ で整理した後、各データセット毎の平均群れサイズ N_p でスケールしたものである。また、図13に示したデータセットの、各航海毎の調査時期、魚群数、航走距離、密度(魚群との遭遇頻度)、魚群の平均水平切断長(m)は図14に示されている。魚群サイズの換算式は参考文献記載のMisund(1993)、Niwa(1995)、及び、Misund & Coetzee

30

【0135】

また、(*1)、(*2)、(*3)については、原典において魚群数が異なる。これは、群れ密度(群/海里)の計算に用いたデータを原典論文で取捨選択しているためと思われる。

【0136】

実測データの出典は(参考文献)として後に記す。

【0137】

図11および図12から、前記シミュレーション方法によって求めた群れサイズ分布と観測(実測)データとが極めてよく一致するといえる。

40

(第1実施例)

本発明に係る浮魚資源現存総量の区間推定方法の第1実施例を説明する。

(概要)

集群性を有する浮魚について、魚群の数密度が算出できるデータに加え、それができないデータを含め、サイズ N の群れの観測頻度 W の実測データ、つまり、1組の無作為標本 $(N, W) = [(N_i, W_i) | i = 1, 2, \dots, n]$ が与えられたとき、 N_p を平均群れサイズとして、標本 (N, W) が分布式

【0138】

【式48】

$$W(N) \propto N^{-1} \exp \left[-\frac{N}{\langle N \rangle_p} \left(1 - \frac{e^{-N/\langle N \rangle_p}}{2} \right) \right]$$

【0139】

に従うという母集団の特性と、魚群サイズ分布が平均群れサイズ N_p でスケールできること、及び、浮魚の数密度が魚群の平均群れサイズ N_p および魚群の分裂確率 p に下記式のように比例すること

【0140】

【式49】

$$\rho \propto p \langle N \rangle_p$$

10

【0141】

を利用し、浮魚の資源量特性、すなわち、浮魚の資源現存量指標のバイアスを修正した値を推測し、併せてその信頼性を評価することを特徴とする。

(概要の説明)

集群性を有する浮魚に関して、測定海域における予め設定した航路に沿って実測した魚群サイズの頻度分布など、魚群の数密度が算出できるデータに加え、まき網漁業など群れを漁獲の単位とする漁法による一投網毎の漁獲量より求めた群れサイズ等、魚群の数密度を算出できないデータを含め、実測した魚群サイズの階級別に度数集計した頻度分布データ、すなわち、 N を階級幅とし階級値 N_i における群れの計測数を W_i' (N としたとき ($i = 1, 2, \dots, n$))、その1組 $\{(N_1, W_1'), (N_2, W_2'), \dots, (N_n, W_n')\}$ [但し、 $N_i = (i - 0.5) N$ で n は頻度分布の階級数]、から任意のある1つの魚が属する群れサイズの期待値となる平均群れサイズ N_p を

20

【0142】

【式50】

$$\langle N \rangle_p = \frac{\sum_{i=1}^n N_i^2 W_i'}{\sum_{i=1}^n N_i W_i'}$$

30

【0143】

(上記式50は、データが魚群サイズの階級別度数集計した頻度分布データ $\{(N_i, W_i') \mid i = 1, 2, \dots, n\}$ として与えられていれば式自体は平均値を求める式として普通の式である。)

により与える手順A、

実測した群れサイズの頻度分布データについて、平均群れサイズ N_p で下記式

【0144】

【式51】

$$W_i = \frac{\langle N \rangle_p W_i'}{\sum_{j=1}^n N_j W_j' \Delta N}$$

(i = 1, 2, ..., n)

40

【0145】

により群れの計測総数から平均サイズへ規格化を変更し、群れサイズ分布データ $\{(N_1, W_1), (N_2, W_2), \dots, (N_n, W_n)\}$ [但し、 W はサイズ N の魚群数 (規格化され

50

た相対度数)] を取り込む手順 B、

(上記式 5 1 は、データが魚群サイズの頻度分布データ $\{(N_i, W_i) \mid i = 1, 2, \dots, n\}$ として与えられていれば、式自体は群れの計測総数から平均サイズへ規格化を変更する式として普通の式である。)

前記、所定の海域で実測した魚群の平均サイズ N_p により、魚群サイズが従う母集団分布の規格化因子 P_{norm} を

【 0 1 4 6 】

【式 5 2】

$$P_{norm} = \frac{\langle N \rangle_P}{\int_0^{\infty} \exp \left[-\frac{N}{\langle N \rangle_P} \left(1 - \frac{e^{-N/\langle N \rangle_P}}{2} \right) \right] dN}$$

10

【 0 1 4 7 】

(上記式 5 2 は、適切な頻度分布を表すように、前記データ $\{(N_i, W_i) \mid i = 1, 2, \dots, n\}$ の規格化すなわち平均群れサイズに一致するサイズ分布関数の規格化因子を求める式として自明の式である。)

により求め、浮魚資源特性を

【 0 1 4 8 】

【式 5 3】

$$W(N) = P_{norm} N^{-1} \exp \left[-\frac{N}{\langle N \rangle_P} \left(1 - \frac{e^{-N/\langle N \rangle_P}}{2} \right) \right]$$

20

【 0 1 4 9 】

(但し、積分式 $\int_0^{\infty} N W(N) dN$ は平均群れサイズに一致する。)

という魚群サイズが従う分布関数で与える手順 C、

前記群れサイズ分布の規格化データ $\{(N_i, W_i) \mid i = 1, 2, \dots, n\}$ について、群れサイズ分布関数

30

【 0 1 5 0 】

【式 5 4】

$$W_i = \theta_1 N_i^{-1} \exp \left[-\frac{N_i}{\theta_2} \left(1 - \frac{e^{-N_i/\theta_2}}{2} \right) \right] + \varepsilon_i$$

($i = 1, 2, \dots, n$)

【 0 1 5 1 】

をパラメータ θ_2 において非線形な回帰モデルとして、前記式 5 3 を推定すべき母集団の初期分布、すなわち、前記式 5 2 の規格化因子 P_{norm} 及び前記式 5 0 の平均群れサイズ

40

N_p を、それぞれ、群れサイズ分布関数のパラメータ θ_1 及び θ_2 の初期値に設定し回帰分析を行い、パラメータ θ_1 として与えられる規格化因子の最小二乗推定値 $\hat{\theta}_1$ 、及び、パラメータ θ_2 として与えられる魚群の平均サイズの最小二乗推定値 $\hat{\theta}_2$ を標準偏差すなわち標準誤差 $se(\hat{\theta}_2)$ とともに求め、回帰分析による推定結果の精度評価として変動係数 $CV(\%) [= \text{標準誤差} \div \text{点推定値}]$

【 0 1 5 2 】

【式 5 5】

$$CV = \frac{se(\Theta_2)}{\Theta_2} \times 100$$

【 0 1 5 3 】

(但し、パーセント表示)を求める手順D、

前記、実測した群れサイズ分布の規格化データ $\{(N_i, W_i) \mid i = 1, 2, \dots, n\}$ により回帰分析を行なって求めたパラメータの最小二乗推定値 $\hat{\Theta}_1$ 、 $\hat{\Theta}_2$ を代入し歪みを修正した群れサイズ分布関数 $W_{re}(N)$

【 0 1 5 4 】

【式 5 6】

$$W_{re}(N) = \Theta_1 N^{-1} \exp\left[-\frac{N}{\Theta_2} \left(1 - \frac{e^{-N/\Theta_2}}{2}\right)\right]$$

【 0 1 5 5 】

(上記式 5 6 は、前記式 5 2 の規格化因子 P_{norm} 及び前記式 5 0 の平均群れサイズ N_p の代わりに、式 5 4 の回帰分析で求まる最小二乗推定値 $\hat{\Theta}_1$ 及び $\hat{\Theta}_2$ を代入したもので、回帰分析によりパラメータ $\hat{\Theta}_1$ 及び $\hat{\Theta}_2$ が既に求まっている場合、最小二乗推定 $\hat{\Theta}_1$ 及び $\hat{\Theta}_2$ を代入するだけで求まる。)

を用い、浮魚の資源密度に比例する、資源現存量指標のバイアスを修正した点推定値 S を

【 0 1 5 6 】

【式 5 7】

$$S = \int_0^{\infty} N W_{re}(N) dN = \int_0^{\infty} \Theta_1 \exp\left[-\frac{N}{\Theta_2} \left(1 - \frac{e^{-N/\Theta_2}}{2}\right)\right] dN$$

【 0 1 5 7 】

により求め、バイアスの推定値を

【 0 1 5 8 】

【式 5 8】

$$S = \sum_{i=1}^n N_i W_i \Delta N$$

【 0 1 5 9 】

によって求める手順E、

ステューデントの t 分布について、前記実測した魚群サイズ分布のデータ数となる階級数 n と前記回帰モデルのパラメータ数 2 の差 ($= n - 2$) によって自由度 ν を与え、 t 分布の片側 $100 \times \alpha$ パーセント点 ($t_{\alpha}(\nu)$) (したがって、両側 $200 \times \alpha$ パーセント点)、 $t_{1-\alpha}(\nu)$ ($t_{\alpha}(\nu)$) を計算し、前記平均サイズの最小二乗推定値 $\hat{\Theta}_2$ と標準誤差 $se(\hat{\Theta}_2)$ から $\hat{\Theta}_2$ の信頼区間を構成し、また、浮魚の資源現存量指標と平均サイズとの間に成立する比例関係の比例係数を $S / \hat{\Theta}_2$ によって求め、前記式 4 9 により S の信頼区間は $\hat{\Theta}_2$ のそれに比例するので、この比例係数を $\hat{\Theta}_2$ の信頼区間に乗ずることによって、資源現存量指標の任意パーセント信頼区間

【 0 1 6 0 】

【式 5 9】

$$\left(S - \frac{S}{\hat{\Theta}_2} t_{\alpha}(\nu) se(\hat{\Theta}_2), S + \frac{S}{\hat{\Theta}_2} t_{\alpha}(\nu) se(\hat{\Theta}_2)\right)$$

【 0 1 6 1 】

10

20

30

40

50

〔但し、バイアスを修正した真値の $100 \times (1 - 2)$ パーセント信頼区間〕を求める手順 F、

とからなる。

【0162】

本発明の第1実施例は、魚群の数密度が算出できないデータも含めたあらゆるデータが使用でき、また、前記式49により、漁場あるいは調査海域における浮魚資源現存量に比例する平均群れサイズでデータを規格化するので、平均群れサイズを基準として資源量特性、すなわち、資源現存量指標および信頼性を評価できる。

(第2実施例)

本発明に係る浮魚資源現存量の区間推定方法の第2実施例を説明する。

10

(概要)

集群性を有する浮魚について、魚群の数密度が算出できるデータにおいて、サイズ N の群れの観測頻度 W 、つまり、群れサイズ分布データが1組の無作為標本 $(N, W) = \{ (N_i, W_i) \mid i = 1, 2, \dots, n \}$ として与えられたとき、 N_p を平均群れサイズとして、標本 (N, W) が分布

【0163】

【式60】

$$W(N) \propto N^{-1} \exp \left[-\frac{N}{\langle N \rangle_P} \left(1 - \frac{e^{-N/\langle N \rangle_P}}{2} \right) \right]$$

20

【0164】

に従うという特性により、母集団を推測することを特徴とする。

(概要の説明)

本発明の浮魚資源現存量の区間推定方法の第2実施例は以下の手順よりなる。

【0165】

測定海域における予め設定した航路に沿って調査船が魚群探知機等で実測した群れサイズ N の階級別に度数集計した頻度分布データ W について、 L km を単位長さとする海表面の単位面積 L^2 km² 当りの魚群の数 ϕ によって、

【0166】

【式61】

$$\sum_{i=1}^n W_i \Delta N = \phi$$

30

【0167】

〔但し、 N を階級幅とし階級値 $N_i = (i - 0.5) N$ における群れの単位面積当たり計測数を W_i とする ($i = 1, 2, \dots, n$; n は階級数)〕と規格化し、その1組 $\{ (N_1, W_1), (N_2, W_2), \dots, (N_n, W_n) \}$ を取り込む手順 A、

前記、所定の海域で実測した群れサイズ分布を単位面積当り魚群数で規格化したデータ $\{ (N_1, W_1), (N_2, W_2), \dots, (N_n, W_n) \}$ 〔但し、 W はサイズ階級値 N の魚群数密度 (単位面積当り魚群サイズの度数密度) で、 n は頻度分布の階級数〕を用い、任意のある1つの魚が属する群れサイズの期待となる平均群れサイズ N_p 、及び、魚群サイズが従う母集団分布の規格化因子 P_{norm} を、それぞれ

40

【0168】

【式62】

$$\langle N \rangle_P = \frac{\sum_{i=1}^n N_i^2 W_i}{\sum_{i=1}^n N_i W_i}$$

【 0 1 6 9 】

(上記式 6 2 は、データが魚群サイズの階級別度数集計した頻度分布データ $\{ (N_i, W_i) \mid i = 1, 2, \dots, n \}$ として与えられていれば式自体は平均値を求める式として普通の式である。)

10

および、

【 0 1 7 0 】

【 式 6 3 】

$$P_{norm} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i W_i \Delta N}{\int_0^{\infty} \exp \left[-\frac{N}{\langle N \rangle_P} \left(1 - \frac{e^{-N/\langle N \rangle_P}}{2} \right) \right] dN}$$

20

【 0 1 7 1 】

(上記式 6 3 は、適切な頻度分布を表すように、前記データ $\{ (N_i, W_i) \mid i = 1, 2, \dots, n \}$ の規格化、すなわち、魚の個体数密度 に一致するサイズ分布関数の規格化因子を求める式として自明の式である。)

によって求め、浮魚資源特性を

【 0 1 7 2 】

【 式 6 4 】

$$W(N) = P_{norm} N^{-1} \exp \left[-\frac{N}{\langle N \rangle_P} \left(1 - \frac{e^{-N/\langle N \rangle_P}}{2} \right) \right]$$

30

【 0 1 7 3 】

(但し、積分式 $\int_0^{\infty} N W(N) dN$ は魚の個体数密度に一致する。)

という魚群サイズが従う分布関数で与える手順 B、

前記実測した群れサイズ N の分布データ W について、群れサイズ分布関数

【 0 1 7 4 】

【 式 6 5 】

$$W_i = \theta_1 N_i^{-1} \exp \left[-\frac{N_i}{\theta_2} \left(1 - \frac{e^{-N_i/\theta_2}}{2} \right) \right] + \varepsilon_i$$

40

($i = 1, 2, \dots, n$)

【 0 1 7 5 】

をパラメータ θ_2 において非線形な回帰モデルとして、前記式 6 4 を推定すべき母集団の初期分布、すなわち、前記式 6 3 の規格化因子 P_{norm} 及び前記式 6 2 の平均群れサイズ N_p を、それぞれ、群れサイズ分布関数のパラメータ θ_1 及び θ_2 の初期値に設定し回帰分析を行い、パラメータ θ_1 として与えられる規格化因子の最小二乗推定値 $\hat{\theta}_1$ 、及び、パラメータ θ_2 として与えられる魚群の平均サイズの最小二乗推定値 $\hat{\theta}_2$ を標準偏差すなわち標準誤差 $se(\hat{\theta}_2)$ とともに求め、回帰分析による推定結果の精度評価として変動係数 $CV(\%) [= \text{標準誤差} \div \text{点推定値}]$

50

【 0 1 7 6 】

【 式 6 6 】

$$CV = \frac{se(\Theta_2)}{\Theta_2} \times 100$$

【 0 1 7 7 】

(但し、パーセント表示)を求める手順C、

前記、実測した群れサイズ分布の規格化データ $\{(N_i, W_i) \mid i = 1, 2, \dots, n\}$ により回帰分析を行なって求めたパラメータの最小二乗推定値 $\hat{\Theta}_1, \hat{\Theta}_2$ を代入し歪みを修正した群れサイズ分布関数 $W_{re}(N)$

10

【 0 1 7 8 】

【 式 6 7 】

$$W_{re}(N) = \Theta_1 N^{-1} \exp\left[-\frac{N}{\Theta_2} \left(1 - \frac{e^{-N/\Theta_2}}{2}\right)\right]$$

【 0 1 7 9 】

を用い、浮魚の資源密度のバイアスを修正した点推定値Sを

【 0 1 8 0 】

【 式 6 8 】

20

$$S = \int_0^{\infty} N W_{re}(N) dN = \int_0^{\infty} \Theta_1 \exp\left[-\frac{N}{\Theta_2} \left(1 - \frac{e^{-N/\Theta_2}}{2}\right)\right] dN$$

【 0 1 8 1 】

により求め、バイアスの推定値を

【 0 1 8 2 】

【 式 6 9 】

$$S = \sum_{i=1}^n N_i W_i \Delta N$$

30

【 0 1 8 3 】

によって求める手順D、

ステューデントのt分布について、前記実測した魚群サイズ分布のデータ数となる階級数 n と前記回帰モデルのパラメータ数 2 の差 $(= n - 2)$ によって自由度 ν を与え、t分布の片側 $100 \times \alpha$ パーセント点 $t_{\alpha}(\nu)$ (したがって、両側 $200 \times \alpha$ パーセント点)、 $t_{1-\alpha}(\nu)$ () を計算し、前記平均サイズの最小二乗推定値 $\hat{\Theta}_2$ と標準誤差 $se(\hat{\Theta}_2)$ から $\hat{\Theta}_2$ の信頼区間を構成し、また、浮魚の資源密度と平均サイズとの間に成立する比例関係の比例係数を $S / \hat{\Theta}_2$ によって求め、前記式 4 9 により点推定値 S の信頼区間は $\hat{\Theta}_2$ のそれに比例するので、この比例係数を $\hat{\Theta}_2$ の信頼区間に乗ずることによって、資源密度の任意パーセント信頼区間

40

【 0 1 8 4 】

【 式 7 0 】

$$\left(S - \frac{S}{\Theta_2} t_{\alpha}(\nu) se(\Theta_2), S + \frac{S}{\Theta_2} t_{\alpha}(\nu) se(\Theta_2)\right)$$

【 0 1 8 5 】

[但し、バイアスを修正した真値の $100 \times (1 - 2\alpha)$ パーセント信頼区間] を求める手順E、
とからなる。

50

【0186】

第2実施例では、実測データに基づいた、精度の高い、浮魚の資源密度のバイアスを修正した点推定値 S と、資源密度の任意パーセントの信頼区間を求めることが可能になる。

(第3実施例)

本発明の第3実施例となる所定の漁場あるいは海域における浮魚資源現存総量の区間推定方法を説明する。

(概要)

上記第2実施例記載の手順を実行させて求めた浮魚の資源密度のバイアスを修正した点推定値及び標準誤差に基づいて、漁場の面積あるいは浮魚の調査海域の面積を掛けて所定の漁場あるいは海域の浮魚資源現存総量のバイアスを修正した点推定値、および、その真値の任意パーセント信頼区間を求めることを特徴とする。

10

(概要の説明)

本発明の第3実施例の浮魚資源現存総量の区間推定方法は以下の手順よりなる。

【0187】

群れサイズの実測データより階級別に度数集計した頻度分布データの一組 $\{(N_1, W_1), (N_2, W_2), \dots, (N_n, W_n)\}$ 〔但し、 N_i は頻度分布の階級値($i = 1, 2, \dots, n$)で n は階級数〕から、上記(第2実施例)記載の手順A、手順B、手順C、手順D、及び、手順Eを実行させて求めた浮魚の資源密度のバイアスを修正した点推定値 S に、漁場の面積あるいは浮魚の調査海域の面積を掛けて所定の漁場あるいは海域の浮魚資源現存総量のバイアスを修正した点推定値 S_{tot} を

20

【0188】

【式71】

$$S_{tot} = S \times \Gamma$$

【0189】

により求める手順F、

ステューデントの t 分布について、前記階級別度数集計した魚群サイズの頻度分布のデータ数となる階級数 n と上記(第2実施例)記載の回帰モデルのパラメータ数2の差($= n - 2$)によって自由度を与え、 t 分布の片側 $100 \times$ パーセント点(したがって、両側 $200 \times$ パーセント点)、 t ()を計算し、前記浮魚の資源現存総量の点推定値 S_{tot} 、上記(第2実施例)記載の手順により求めた平均魚群サイズの最小二乗推定値 $\hat{\theta}_2$ と標準誤差 $se(\hat{\theta}_2)$ を用いて、バイアスを修正した浮魚資源現存総量の任意パーセント信頼区間

30

【0190】

【式72】

$$\left(S_{tot} - \frac{S_{tot}}{\hat{\theta}_2} t_{\alpha}(v) se(\hat{\theta}_2), S_{tot} + \frac{S_{tot}}{\hat{\theta}_2} t_{\alpha}(v) se(\hat{\theta}_2) \right)$$

【0191】

〔但し、浮魚資源現存総量の真値の $100 \times (1 - 2)$ パーセント信頼区間〕を求める

40

手順G、

とからなる。

【0192】

第3実施例では、第2実施例で求めた実測データに基づいた、精度の高い、浮魚の資源密度のバイアスを修正した点推定値 S と、資源密度の任意パーセントの信頼区間を用いて、所定の漁場あるいは海域におけるバイアスを修正した浮魚資源現存総量を区間推定することが可能になる。

(第4実施例)

以下に、本発明の第4実施例の浮魚資源現存量の区間推定方法について、実施例を図13および図14に示したデータセット2に基づいて詳細に説明する。データは参考文献記載

50

の原(1990)によるもので、北海道東沖海域へ回遊して来たマイワシ魚群を、1982年7月30日から8月6日の期間にかけて魚群探知機を用いて定線調査した結果である。但し、魚群探知機により観測した魚群の寸法サイズ(垂直厚さ)RのR=0~20mの範囲の階級別度数集計データ(図13)は、図15に示すように、 $R = N^{0.5}$ の関係式により群れの構成尾数Nに換算し、尾数サイズをN=0~50の範囲にスケールし階級幅N=2で整理した。従って、群れサイズNは寸法R=2.8mの群れを構成する魚の数 N_{R1} を単位としている。換算式は参考文献記載のMisund(1993)、Niwa(1995)、及び、Misund & Coetzee(2000)によった。

【0193】

測定海域における予め設定された航路に沿って調査船が魚群探知機で実測した群れサイズの頻度分布データ $\{(N_i, W_i) \mid i = 1, 2, \dots, 25\}$ は、L=1kmを単位長さとする海表面の単位面積($L^2 = 1 \text{ km}^2$)当りの魚群の数に規格化した。すなわち、Nを階級幅とし階級値 N_i における群れの単位面積当たり計測数を W_i 、Nとしたとき〔但し、 $N_i = (i - 0.5) \cdot N$ で $i = 1, 2, \dots, 25$ (階級数は25)〕、下記式73のとおり規格化した。

【0194】

【式73】

$$\sum_{i=1}^{25} W_i \Delta N = \phi = 15.21$$

20

【0195】

単位面積($L^2 \text{ km}^2$)当り魚群の数を実測データから計算する方法は参考文献記載の土井(1979)の方法を用いた。

【0196】

このとき、浮魚資源現存量は、垂直厚さR=2.8mの群れの構成個体数 N_{R1} を単位とし、 1 km^2 当りの魚の数、すなわち、 1 km^2 当りの個体数密度として計算される。

【0197】

定義式62により観測データから直接計算した平均群れサイズ、及び、魚群サイズが従う母集団分布の規格化因子は、それぞれ

【0198】

【式74】

$$\langle N \rangle'_p = \frac{\sum_{i=1}^{25} N_i^2 W_i}{\sum_{i=1}^{25} N_i W_i} = 11.70$$

30

【0199】

および、

【0200】

【式75】

$$P'_{norm} = \frac{\sum_{i=1}^{25} N_i W_i \Delta N}{\int_0^{\infty} \exp \left[-\frac{N}{\langle N \rangle'_p} \left(1 - \frac{e^{-N/\langle N \rangle'_p}}{2} \right) \right] dN} = 4.572$$

40

【0201】

と計算され、浮魚資源特性は

50

【 0 2 0 2 】

【 式 7 6 】

$$W(N) = P'_{norm} N^{-1} \exp \left[-\frac{N}{\langle N \rangle'_P} \left(1 - \frac{e^{-N/\langle N \rangle'_P}}{2} \right) \right]$$

【 0 2 0 3 】

〔但し、積分式 $\int_0^{\infty} N W(N) dN$ は魚の個体数密度に一致する。〕
 という魚群サイズが従う分布関数で与えられる。

【 0 2 0 4 】

群れサイズ分布の観測データ W と群れサイズ N との間の回帰モデル

【 0 2 0 5 】

【 式 7 7 】

$$W_i = \theta_1 N_i^{-1} \exp \left[-\frac{N_i}{\theta_2} \left(1 - \frac{e^{-N_i/\theta_2}}{2} \right) \right] + \varepsilon_i$$

【 0 2 0 6 】

〔但し、 W_i は階級値 N_i における度数密度、 θ_1 及び θ_2 はパラメータ、 ε_i は残差、データ数となる階級数は $n = 25$ 〕

をパラメータ θ_2 において非線形な回帰モデルとして、前記式 7 6 を推定すべき母集団の初期分布、すなわち、前記式 7 5 の $P'_{norm} = 4.572$ 、及び、前記式 7 4 の $N'_p = 11.70$ を、それぞれ、群れサイズ分布関数のパラメータ θ_1 及び θ_2 の初期値に設定し回帰分析を行うと、群れサイズ分布関数のパラメータ θ_2 として与えられる平均群れサイズ N'_p の最小二乗推定値 $\hat{\theta}_2$ は標準誤差 $se(\hat{\theta}_2)$ とともに、以下のように計算される。

【 0 2 0 7 】

【 式 7 8 】

$$\langle N \rangle'_P = \hat{\theta}_2 \pm se(\hat{\theta}_2) = 13.37 \pm 0.55$$

【 0 2 0 8 】

回帰分析による推定結果は

【 0 2 0 9 】

【 式 7 9 】

$$CV = \frac{se(\hat{\theta}_2)}{\hat{\theta}_2} \times 100 = 4.11(\%)$$

【 0 2 1 0 】

となり資源評価としてはかなり精度が高いといえる。

【 0 2 1 1 】

前記実測した群れサイズの階級別集計した頻度分布 $\{ (N_i, W_i) \mid i = 1, 2, \dots, n \}$ により回帰分析を行なって求めたパラメータの最小二乗推定値 $\hat{\theta}_1 = 3.880$ 、 $\hat{\theta}_2 = 13.37$ を代入し、頻度分布データに存在する歪みを修正した群れサイズ分布関数 $W_{re}(N)$

【 0 2 1 2 】

【 式 8 0 】

10

20

30

40

$$W_{re}(N) = \Theta_1 N^{-1} \exp\left[-\frac{N}{\Theta_2} \left(1 - \frac{e^{-N/\Theta_2}}{2}\right)\right]$$

【 0 2 1 3 】

を用いると、浮魚の資源密度のバイアスを修正した点推定値 S は

【 0 2 1 4 】

【 式 8 1 】

$$S = \int_0^{\infty} N W_{re}(N) dN = 58.85$$

10

【 0 2 1 5 】

と与えられる。

【 0 2 1 6 】

ステューデントの t 分布について、実測した魚群サイズ分布のデータ数となる階級数 $n = 25$ と回帰モデルのパラメータ数 2 の差

【 0 2 1 7 】

【 式 8 2 】

$$v = n - 2 = 23$$

20

【 0 2 1 8 】

によって自由度 v を与えると、 t 分布の片側確率 $\alpha = 0.025$ における値、すなわち片側 2.5 パーセント点（したがって、両側 5 パーセント点）が計算できる。

【 0 2 1 9 】

【 式 8 3 】

$$t_{\alpha}(v) = t_{0.025}(23) = 2.069$$

【 0 2 2 0 】

平均群れサイズ N_p の最小二乗推定値 $\hat{\Theta}_2$ と標準誤差 $se(\hat{\Theta}_2)$ 、及び、ステューデントの t 分布から $t_{\alpha}(v)$ を用いて、平均サイズの真値の 95 パーセント信頼区間は

30

【 0 2 2 1 】

【 式 8 4 】

$$(\hat{\Theta}_2 - t_{0.025}(23)se(\hat{\Theta}_2), \hat{\Theta}_2 + t_{0.025}(23)se(\hat{\Theta}_2)) = (12.23, 14.50)$$

【 0 2 2 2 】

と求まる。

【 0 2 2 3 】

式 39 により資源密度 S は平均群れサイズ N_p に比例する（図 10）。この比例係数を、浮魚の資源密度の点推定値 S と平均群れサイズの点推定値 $\hat{\Theta}_2$ の比

40

【 0 2 2 4 】

【 式 8 5 】

$$\frac{S}{\hat{\Theta}_2} = 4.403$$

【 0 2 2 5 】

によって与え、同式 39 により S の信頼区間は $\hat{\Theta}_2$ のそれに比例するので、この比例係数を $\hat{\Theta}_2$ の 95 パーセント信頼区間（式 84）に乗ずることによって、バイアスを修正した資源密度の真値の 95 パーセント信頼区間は下記のように求まる。

【 0 2 2 6 】

50

【式 8 6】

$$\left(S - \frac{S}{\Theta_2} t_{0.025}(23)se(\Theta_2), S + \frac{S}{\Theta_2} t_{0.025}(23)se(\Theta_2)\right) = (53.85, 63.86)$$

【0 2 2 7】

こうして、本発明の浮魚資源現存量の区間推定方法によると、図 1 3 および図 1 4 に示したデータセット 2 に関して、マイワシの資源密度 [単位面積 (1 km²) 当りの魚の数] の最小二乗推定値 S は、垂直厚さ $R = 2.8$ m の群れの構成個体数 N_{R1} を単位として以下のように求まる。

【0 2 2 8】

【式 8 7】

$$S = 58.85 \times N_{R1} (\text{尾} \cdot \text{km}^{-2})$$

【0 2 2 9】

一方、観測データから直接求めたマイワシの資源密度 [単位面積 (1 km²) 当りの魚の数] は

【0 2 3 0】

【式 8 8】

$$S' = \sum_{i=1}^{25} N_i W_i \Delta N = 60.68 \times N_{R1} (\text{尾} \cdot \text{km}^{-2})$$

【0 2 3 1】

と計算される。このとき資源密度のバイアスは

【0 2 3 2】

【式 8 9】

$$S - S' = -1.83 \times N_{R1} (\text{尾} \cdot \text{km}^{-2})$$

【0 2 3 3】

と推定される。

【0 2 3 4】

図 1 6 にデータセット 2 の魚群サイズ分布を示す [実測データを黒丸 (●) で示す]。最小二乗法 (回帰分析) により推定したパラメータを適用し歪みを修正した分布曲線 W_{re} (N) は破線で表した。観測データから直接計算した平均群れサイズ $N'_{p} = 11.70$ 、及び、観測データによる規格化因子 $P'_{norm} = 4.572$ を代入した魚群サイズ分布曲線 (式 7 6) は実線で表した。

【0 2 3 5】

これらの結果から、本発明の浮魚資源現存量の区間推定方法は、観測データに基づく結果に極めて近い値をとり、問題なく使用することができるものといえる。

(第 5 実施例)

さらに、必要に応じて、第 4 実施例における前記一連の手順を実行させて求めた浮魚の資源密度のバイアスを修正した点推定値 S に、漁場の面積あるいは浮魚の調査海域の面積を掛けて所定の漁場あるいは海域の浮魚資源現存総量のバイアスを修正した点推定値 S_{tot} を求める。

【0 2 3 6】

平均魚群サイズは資源密度に比例するので、浮魚の資源密度の点推定値 S 、平均魚群サイズの最小二乗推定値 $\hat{\mu}_2$ と標準誤差 $se(\hat{\mu}_2)$ 、及び、ステューデントの t 分布から $t(\alpha/2, n-2)$ を用いて [但し、自由度 $n-2$ はデータ数となる頻度分布の階級数 n と上記 (第 4 実施例) 記載の回帰モデルのパラメータ数 2 の差]、バイアスを修正した浮魚資源現存総量の任意パーセント信頼区間 [但し、浮魚資源現存総量の真値の $100 \times (1 - 2\alpha)$ パー

10

20

30

40

50

セント信頼区間]を求める。

第4実施例(図13及び図14に示したデータセット2)においては、調査領域の面積は
= 26,904 (km²)であり、従って、この海域におけるマイワシ資源現存総量は
【0237】

【式90】

$$S_{tot} = 1.583 \times 10^6 \times N_{R1} (\text{尾})$$

【0238】

と推定され、その95パーセント信頼区間CI_{tot}は下記式となる。

【0239】

【式91】

$$CI_{tot} = (1.449 \times 10^6 \times N_{R1}, 1.718 \times 10^6 \times N_{R1})$$

【0240】

また、この海域における群れの構成尾数の期待値N_{mean}は図15に示した群れサイズの頻度分布データより

【0241】

【式92】

$$N_{mean} = 3.989 N_{R1} (\text{尾/群})$$

【0242】

と推定される。

1982年7月30日から8月6日の期間に北海道東沖海域へ回遊して来たマイワシ資源の現存総量の大きな推定値は、参考文献記載の原(1990)によると、 $1.1879 \times 10^8 \sim 1.3430 \times 10^8$ トンであった。実測したマイワシ1尾当たりの重量は55~80グラム(体長は16~18cm)であったので、寸法サイズ(垂直厚さ)R=2.8mの群れを構成する魚の数N_{R1}は

【0243】

【式93】

$$\begin{aligned} N_{R1} &= 1.178 \times 10^6 (\text{尾}) \\ &= 78.55 (\text{トン}) \end{aligned}$$

【0244】

また、群れの構成尾数(あるいはトン数)の期待値は

【0245】

【式94】

$$\begin{aligned} N_{mean} &= 4.700 \times 10^6 (\text{尾/群}) \\ &= 313.3 (\text{トン/群}) \end{aligned}$$

【0246】

さらに、第4実施例の式78より平均群れサイズは標準誤差とともに

【0247】

【式95】

$$\begin{aligned} \langle N \rangle_P &= (13.37 \pm 0.55) \times N_{R1} (\text{尾}) \\ &= (1.575 \pm 0.065) \times 10^7 (\text{尾}) \\ &= (1.050 \pm 0.043) \times 10^3 (\text{トン}) \end{aligned}$$

【0248】

とそれぞれ評価される。従って、本発明によるマイワシ資源現存量の区間推定結果は、資

10

20

30

40

50

源現存総量のバイアスを修正した点推定値は

【 0 2 4 9 】

【 式 9 6 】

$$S_{tot} = 1.866 \times 10^{12} (\text{尾})$$

$$= 1.244 \times 10^8 (\text{トン})$$

【 0 2 5 0 】

バイアスを修正した資源現存総量の 95 パーセント信頼区間は

【 0 2 5 1 】

【 式 9 7 】

$$CI_{tot} = (1.707 \times 10^{12}, 2.024 \times 10^{12}) (\text{尾})$$

$$= (1.138 \times 10^8, 1.350 \times 10^8) (\text{トン})$$

10

【 0 2 5 2 】

となる。このとき、資源現存総量のバイアスは、第 4 実施例における式 89 により

【 0 2 5 3 】

【 式 9 8 】

$$(S - S') \times \Gamma = -5.8 \times 10^{10} (\text{尾})$$

$$= -3.9 \times 10^6 (\text{トン})$$

20

【 0 2 5 4 】

と推定される。

【 0 2 5 5 】

ところで、参考文献記載の原 (1985) および H a r a (1986) によると、夏期に北海道東沖海域へ回遊して来るマイワシ魚群の群れ当たり構成尾数は (あるいはトン数) は

【 0 2 5 6 】

【 式 9 9 】

$$N'_{mean} = 2.54 \times 10^6 \sim 8.10 \times 10^6 (\text{尾/群})$$

$$= 203 \sim 324 (\text{トン/群})$$

30

【 0 2 5 7 】

と評価されている。これは上記式 94 と極めてよく一致する。従って、本発明の浮魚資源現存量の区間推定方法は、従来の資源現存量の (点) 推定方法と矛盾しないと言える。

(第 6 実施例)

以下に、本発明の浮魚資源現存量の区間推定方法について、第 4 実施例と同じ処理を図 13 および図 14 に示した全てのデータセットに施した実施例を図 17 に示す。データは参考文献記載の原 (1990) により、夏季、北海道東沖海域へ回遊して来たマイワシ魚群を、1981 年から 1987 年の期間にかけて魚群探知機を用いて定線調査した結果である。但し、魚群探知機により観測した魚群の寸法サイズ (垂直厚さ) R の $R = 0 \sim 20$ m の範囲の階級別度数集計データ (図 13) は、 $R = N^{0.5}$ の関係式により群れの構成尾数 N に換算し、尾数サイズを $N = 0 \sim 50$ の範囲にスケールし階級幅 $N = 2$ で整理した。従って、群れサイズ N は寸法 $R = 2.8$ m の群れを構成する魚の数 N_{R1} を単位としている。換算式は参考文献記載の M i s u n d (1993)、N i w a (1995)、及び、M i s u n d & C o e t z e e (2000) によった。また、単位面積 (1 km^2) 当り魚群の数を実測データから計算する方法は参考文献記載の土井 (1979) の方法を用いた。

40

50

【0258】

測定海域における予め設定した航路に沿って調査船が魚群探知機で実測した群れサイズの頻度分布データ $\{(N_i, W_i) \mid i = 1, 2, \dots, n\}$ は、比較する各データセットにおいて、 $L = 1 \text{ km}$ を単位長さとする海表面の単位面積 ($L^2 = 1 \text{ km}^2$) 当りの魚群の数に規格化した。

前記実測値データを用い、本発明の浮魚資源現存量の区間推定方法に基づいて推定したマイワシの現存資源密度 (単位面積当りの魚の数) は黒丸 (●)、95パーセント信頼区間は縦棒で表した。白丸 (○) は前記データから直接求めたマイワシの資源密度 (単位面積当りの魚の数) を表す。黒丸 (●) と白丸 (○) の数値の差が資源密度のバイアスの推定値を与える。横軸の数値はデータセット番号を示す。縦軸の数値は、寸法 $R = 2.8 \text{ m}$ の群れの構成個体数 N_{R1} を単位として、単位面積 (1 km^2) 当りの魚の数を示す。また、回帰分析による平均群れサイズの推定結果の変動係数 CV は図17の中に埋め込んである。縦軸の数値は $CV (\%)$ を、横軸の数値はデータセット番号を示す。

図17から分かるように、本発明の浮魚資源現存量の区間推定方法に基づいて推定した値は、実測データに基づく値に極めて近い値を示し、本発明の浮魚資源現存量の区間推定方法が有効であることを明示している。

なお、データセット15では変動係数 CV が49.6%と大きく、資源現存量の推定精度は悪い。この15番目のデータセットからはあまり積極的な結果は導けないと言える。また、データセット7では資源現存量のバイアスが、信頼区間に比べて大きいことがわかる。

(第7実施例)

以下に、本発明の浮魚資源現存量の区間推定方法について、図13および図14に示した全てのデータセットに基づいて、但し、魚群の数密度を計算しないで、すなわち、調査船の航走距離に関する図14のデータを使わないで、第3実施例における前記一連の手順を実行した例を図18に示す。データは参考文献記載の原 (1990) により、夏季、北海道東沖海域へ回遊して来たマイワシ魚群を、1981年から1987年の期間にかけて魚群探知機を用いて定線調査した結果である。但し、魚群探知機により観測した魚群の寸法サイズ (垂直厚さ) R の $R = 0 \sim 20 \text{ m}$ の範囲の階級別度数集計データ (図13) は、 $R = N^{0.5}$ の関係式により群れの構成尾数 N に換算し、尾数サイズを $N = 0 \sim 50$ の範囲にスケールし階級幅 $N = 2$ で整理した。従って、群れサイズ N は寸法 $R = 2.8 \text{ m}$ の群れを構成する魚の数 N_{R1} を単位としている。換算式は参考文献記載の Misund (1993)、Niwa (1995)、及び、Misund & Coetzee (2000) によった。

【0259】

実測した魚群サイズの階級別度数集計した頻度分布データから平均群れサイズを、第1実施例手順A (式50) により、それぞれのデータに関して求め、群れサイズの頻度分布のデータセットについて、それぞれ対応する魚群の平均サイズで、第1実施例手順B (式51) により、規格化する。

【0260】

前記、所定の海域で実測した群れサイズ分布を平均サイズで規格化したデータセットを用い、魚群サイズが従う母集団分布の規格化因子を、第1実施例手順C (式52) により、それぞれのデータについて求め、それぞれの浮魚資源特性を魚群サイズが従う分布関数 (式53) により与える。

【0261】

全ての規格化データセットに関し、前記で求めた浮魚資源特性を初期値として、第1実施例手順Dにより、回帰分析を行い、魚群の平均サイズの最小二乗推定値を標準誤差とともに求め、推定結果の精度評価として変動係数 $CV (\%)$ を式55より求める。

【0262】

平均魚群サイズは資源密度に比例するので、全ての規格化データセットに関し、前記によりそれぞれ回帰分析を行なって求めた規格化因子及び平均魚群サイズを与えるパラメータ

10

20

30

40

50

の最小二乗推定値を代入し歪みを修正した魚群サイズ分布(式56)を用い、第1実施例手順E(式57)により、浮魚のバイアスを修正した資源現存量指標を求める。さらに、ステューデントのt分布からt()を用いて〔但し、自由度はデータ数となる頻度分布の階級数nと上記(第1実施例)記載の回帰モデルのパラメータ数2の差〕、第1実施例手順F(式59)より推定資源量特性の信頼性指標として魚群サイズの真値の100×(1-2)パーセント信頼区間を求める。

こうして、前記実測データを用い、本発明の浮魚資源現存量の区間推定方法に基づいて推定したマイワシの現存資源量指標は黒丸()、その95パーセント信頼区間を信頼性指標として縦棒で表した。白丸()は前記データから直接求めたマイワシの資源量指標を表す。黒丸()と白丸()の数値の差が資源現存量指標のバイアスの推定値を与える。横軸の数値はデータセット番号を示す。縦軸の数値は資源現存量指標、すなわち、相対的な資源現存量を示す。また、また、回帰分析による平均群れサイズの推定結果の変動係数CVは図18の中に埋め込んである。縦軸の数値はCV(%)を、横軸の数値はデータセット番号を示す。

第6実施例の図17で示したマイワシの資源現存量の区間推定結果と、図18に示したマイワシの資源現存量指標の区間推定結果とはほぼ同じ傾向を示し、図18からバイアスを修正した資源量特性、すなわち、相対的な資源現存量を推定でき、変動係数CVからデータによる推定値の精度を評価できる。

以上のとおりであるから、前記(相対)資源密度を用いた浮魚資源現存量の区間推定方法は極めて実測データに近いものであり有効であることが確認できた。

本発明は、さらに、情報処理装置、例えばコンピュータに読み込まれるプログラム、そのプログラムによって実行される浮魚資源現存量の区間推定方法、及びそのプログラムを記録した記録媒体に係る。

前記コンピュータには、直接又は間接に魚群探知機、ソナー等が接続され、測定海域に予め設定した航路に沿って調査船が航走し計測した群れサイズデータが取り込まれ、階級別に度数集計される。あるいは、前記コンピュータには、漁業統計などによる群れサイズの階級別度数集計した頻度分布データが取り込まれる。サイズ分布データは、Nを階級幅とし階級値N_iにおける群れの計測数をW_i、Nとしたとき〔但し、N_i=(i-0.5)

Nでi=1, 2, . . . , n(階級数はn)〕、その1組により構成される。

【0263】

コンピュータは、前記プログラムを読み込み、実行し、以下に示すフローに沿って必要な演算を行い、所定海域の資源現存量の推定値等を計算する。

【0264】

浮魚資源現存量の区間推定方法のコンピュータ・プログラムは所定の海域で実測された魚群サイズの頻度分布データに基づき、以下の処理を行なう。

図1は、図1(a)及び図1(b)からなり、本発明の浮魚資源現存量の区間推定法の下記処理(1)のフローチャートを示す図である。図1(a)は前記フローチャートの前半を示し、図1(b)は前記フローチャートの後半を示す図である。

処理(1)スタート

(1.1) 所定の海域で観測された魚群において、魚群サイズの階級別度数集計した頻度分布データ{(N₁, W'₁), (N₂, W'₂), . . . , (N_n, W'_n)}をコンピュータに取り込む(ステップS11)。

(1.2) ステューデントのt分布について、片側確率 を決め、求める信頼度100×(1-2)%を定める(ステップS12)。

(1.3) 平均群れサイズ N_pを下記式により計算する(ステップS13)。

【0265】

【式100】

10

20

30

40

$$\langle N \rangle_p = \frac{\sum_{i=1}^n N_i^2 W_i'}{\sum_{i=1}^n N_i W_i'}$$

【0266】

(1.4) 魚群サイズの頻度分布データ $\{(N_i, W_i') \mid i = 1, 2, \dots, n\}$ について、下記式に基づき平均群れサイズ N_p により規格化する (ステップ S14)

【0267】

【式101】

$$W_i = \frac{\langle N \rangle_p W_i'}{\sum_{j=1}^n N_j W_j' \Delta N}$$

(i = 1, 2, ..., n)

【0268】

(1.5) 規格化データ $\{(N_i, W_i) \mid i = 1, 2, \dots, n\}$ (実測魚群サイズの規格化された相対度数) より、下記式によって魚群サイズが従う母集団分布の規格化因子 P_{norm} を計算する (ステップ S15)。

【0269】

【式102】

$$P_{norm} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i W_i \Delta N}{\int_0^{\infty} \exp \left[-\frac{N}{\langle N \rangle_p} \left(1 - \frac{e^{-N/\langle N \rangle_p}}{2} \right) \right] dN}$$

【0270】

(1.6) 群れサイズ分布の観測データ W と群れサイズ N との間の回帰モデルを

【0271】

【式103】

$$W_i = \theta_1 N_i^{-1} \exp \left[-\frac{N_i}{\theta_2} \left(1 - \frac{e^{-N_i/\theta_2}}{2} \right) \right] + \varepsilon_i$$

(i = 1, 2, ..., n)

【0272】

(但し、 θ_1 及び θ_2 はパラメータ、 ε_i は残差)

によって構成し、規格化因子 P_{norm} 及び平均群れサイズ N_p を、それぞれ、群れサイズ分布関数のパラメータ θ_1 及び θ_2 の初期値に設定し回帰分析を行なう (ステップ S16)。

【0273】

こうして、群れサイズ分布関数の規格化のパラメータとして与えられる θ_1 の最小二乗推定値 $\hat{\theta}_1$ を求める。

【0274】

また、群れサイズ分布関数のパラメータ θ_2 として与えられる平均群れサイズ N_p の最

10

20

30

40

50

小二乗推定値 Θ_2 を標準誤差 $se(\Theta_2)$ とともに求める。

(1.7) 回帰分析による推定結果の精度評価として下記式によって変動係数 $CV(\%)$ を計算する(ステップ S17)。

【0275】

【式104】

$$CV = \frac{se(\Theta_2)}{\Theta_2} \times 100$$

【0276】

10

(1.8) 回帰分析を行なって求めたパラメータの最小二乗推定値 Θ_1 、及び、 Θ_2 を代入し、歪みを修正した群れサイズ分布関数 $W_{re}(N)$

【0277】

【式105】

$$W_{re}(N) = \Theta_1 N^{-1} \exp\left[-\frac{N}{\Theta_2} \left(1 - \frac{e^{-N/\Theta_2}}{2}\right)\right]$$

【0278】

を用い、浮魚の資源現存量指標のバイアスを修正した点推定値 S を資源密度に比例する相対値として、下記式

20

【0279】

【式106】

$$S = \int_0^{\infty} N W_{re}(N) dN = \int_0^{\infty} \Theta_1 \exp\left[-\frac{N}{\Theta_2} \left(1 - \frac{e^{-N/\Theta_2}}{2}\right)\right] dN$$

【0280】

(1.9) により求め、バイアスの推定値を

【0281】

30

【式107】

$$S - \sum_{i=1}^n N_i W_i \Delta N$$

【0282】

によって求める(ステップ S18)。

(1.10) スチューデントの t 分布について、実測した魚群サイズ分布のデータ数となる階級数 n と回帰モデルのパラメータ数 2 の差 $\nu = n - 2$ によって自由度 ν を与え、 t 分布の片側 $100 - \alpha$ パーセント点 $t_{\alpha}(\nu)$ (したがって、両側 $200 - \alpha$ パーセント点)、 $t_{\alpha}(\nu)$ を求める(ステップ S19)。

40

(1.11) 浮魚の資源現存量指標のバイアスを修正した点推定値 S 、平均群れサイズ N_p の最小二乗推定値 Θ_2 と標準誤差 $se(\Theta_2)$ 、及び、スチューデントの t 分布から $t_{\alpha}(\nu)$ を用いて、下記式によって浮魚の資源現存量指標の真値の $100 \times (1 - \alpha)$ パーセント信頼区間を求める(ステップ S20)。

【0283】

【式108】

$$\left(S - \frac{S}{\Theta_2} t_{\alpha}(\nu) se(\Theta_2), S + \frac{S}{\Theta_2} t_{\alpha}(\nu) se(\Theta_2)\right)$$

【0284】

50

処理(1)終了

図2は、図2(a)及び図2(b)からなり、本発明の浮魚資源現存量の区間推定方法の下記処理(2)のフローチャートを示す図である。図2(a)は前記フローチャートの前半を示し、図2(b)は前記フローチャートの後半を示す図である。

処理(2)スタート

(2.1) 所定の海域で観測された魚群において、魚群サイズの階級別度数集計した頻度分布データ{(N₁, W'₁), (N₂, W'₂), . . . , (N_n, W'_n)}をコンピュータに取り込む(ステップS21)。

(2.2) 単位長さL kmを決め、海表面の単位面積(L² km²)当りの魚群の数をコンピュータに与える(ステップS22)。

(2.3) スチューデントのt分布について、片側確率を決め、求める信頼度100×(1-2)を定める(ステップS23)。

(2.4) 魚群サイズの頻度分布データ{(N_i, W'_i) | i = 1, 2, . . . , n}を、L kmを単位長さとする単位面積(L² km²)当りの魚群の数に下記式によって規格化して、規格化データ{(N_i, W_i) | i = 1, 2, . . . , n}を得る(ステップS24)。

【0285】

【式109】

$$W_i = \frac{\phi W'_i}{\sum_{j=1}^n W'_j \Delta N}$$

(i = 1, 2, . . . , n)

【0286】

(2.5) 規格化データ{(N_i, W_i) | i = 1, 2, . . . , n} (単位面積当り魚群サイズの度数)より、平均群れサイズ $\langle N \rangle_p$ を計算する(ステップS25)。

【0287】

【式110】

$$\langle N \rangle_p = \frac{\sum_{i=1}^n N_i^2 W_i}{\sum_{i=1}^n N_i W_i}$$

【0288】

(2.6) 規格化データ{(N_i, W_i) | i = 1, 2, . . . , n} (単位面積当り魚群サイズの度数)より、魚群サイズが従う母集団分布の規格化因子 P_{norm} を計算する(ステップS26)。

【0289】

【式111】

$$P_{norm} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i W_i \Delta N}{\int_0^{\infty} \exp \left[-\frac{N}{\langle N \rangle_p} \left(1 - \frac{e^{-N/\langle N \rangle_p}}{2} \right) \right] dN}$$

【0290】

(2.7) 群れサイズ分布の観測データWと群れサイズNとの間の回帰モデルを

【0291】

10

20

30

40

50

【式 1 1 2】

$$W_i = \theta_1 N_i^{-1} \exp\left[-\frac{N_i}{\theta_2} \left(1 - \frac{e^{-N_i/\theta_2}}{2}\right)\right] + \varepsilon_i$$

$(i = 1, 2, \dots, n)$

【0 2 9 2】

〔但し、 θ_1 及び θ_2 はパラメータ、 ε_i は残差〕
 によって構成し、規格化因子 P_{norm} 及び平均群れサイズ N_p を、それぞれ、群れサイズ分布関数のパラメータ θ_1 及び θ_2 の初期値に設定し回帰分析を行なう（ステップ S 2 7）。

【0 2 9 3】

こうして、群れサイズ分布関数の規格化のパラメータとして与えられる θ_1 の最小二乗推定値 $\hat{\theta}_1$ を求める。

【0 2 9 4】

また、群れサイズ分布関数のパラメータ θ_2 として与えられる平均群れサイズ N_p の最小二乗推定値 $\hat{\theta}_2$ を標準誤差 $se(\hat{\theta}_2)$ とともに求める。

（2. 8）回帰分析による推定結果の精度評価として下記式によって変動係数 CV（%）を計算する（ステップ S 2 8）。

【0 2 9 5】

【式 1 1 3】

$$CV = \frac{se(\hat{\theta}_2)}{\hat{\theta}_2} \times 100$$

【0 2 9 6】

（2. 9）回帰分析を行なって求めたパラメータの最小二乗推定値 $\hat{\theta}_1$ 、及び、 $\hat{\theta}_2$ を代入し、歪みを修正した群れサイズ分布関数 $W_{re}(N)$

【0 2 9 7】

【式 1 1 4】

$$W_{re}(N) = \hat{\theta}_1 N_i^{-1} \exp\left[-\frac{N_i}{\hat{\theta}_2} \left(1 - \frac{e^{-N_i/\hat{\theta}_2}}{2}\right)\right]$$

【0 2 9 8】

を用い、浮魚の資源密度のバイアスを修正した点推定値 S 、すなわち、単位面積（ $L^2 k m^2$ ）当りの魚の数の点推定値 S を、下記式

【0 2 9 9】

【式 1 1 5】

$$S = \int_0^\infty N W_{re}(N) dN = \int_0^\infty \hat{\theta}_1 \exp\left[-\frac{N}{\hat{\theta}_2} \left(1 - \frac{e^{-N/\hat{\theta}_2}}{2}\right)\right] dN$$

【0 3 0 0】

により求め、バイアスの推定値を

【0 3 0 1】

【式 1 1 6】

$$S - \sum_{i=1}^n N_i W_i \Delta N$$

10

20

30

40

50

【0302】

によって求める（ステップS29）。

（2.10） スチューデントのt分布について、実測した魚群サイズ分布のデータ数となる階級数nと回帰モデルのパラメータ数2の差 $= n - 2$ によって自由度 ν を与え、t分布の片側100パーセント点（したがって、両側200パーセント点）、 $t_{\alpha}(\nu)$ を求める（ステップS30）。

（2.11） 浮魚の資源密度のバイアスを修正した点推定値 S 、平均群れサイズ N の最小二乗推定値 $\hat{\theta}_2$ と標準誤差 $se(\hat{\theta}_2)$ 、及び、スチューデントのt分布から $t_{\alpha}(\nu)$ を用いて、下記式によって浮魚の資源密度の真値の100×(1-2)パーセント信頼区間を求める（ステップS31）。

10

【0303】

【式117】

$$\left(S - \frac{S}{\hat{\theta}_2} t_{\alpha}(\nu) se(\hat{\theta}_2), S + \frac{S}{\hat{\theta}_2} t_{\alpha}(\nu) se(\hat{\theta}_2) \right)$$

【0304】

処理（2）終了

（プログラム1）

本発明のプログラム1は、集群性魚群に関する実測データが従う群れサイズ分布関数を用いて回帰分析を行い、この分析結果と魚の個体数密度との関係式を用い、対象海域のバイアスを修正した浮魚資源現存量指標を信頼区間とともに求める浮魚資源現存量の区間推定処理をコンピュータに実行させるプログラムであって、

20

前記コンピュータに前記第1実施例の手順A、手順B、手順C、手順D、手順E、及び、手順Fを実行させるためのプログラムからなる。

（プログラム2）

本発明のプログラム2は、集群性魚群に関する実測データが従う群れサイズ分布関数を用いて回帰分析を行い、この分析結果と魚の個体数密度との関係式を用い、対象海域のバイアスを修正した浮魚資源密度を信頼区間とともに求める浮魚資源現存量の区間推定処理をコンピュータに実行させるプログラムであって、

30

前記コンピュータに前記第2実施例の手順A、手順B、手順C、手順D、及び、手順Eを実行させるためのプログラムからなる。

（プログラム3）

本発明のプログラム3は、集群性魚群に関する実測データが従う群れサイズ分布関数を用いて回帰分析を行い、この分析結果と魚の個体数密度との関係式を用い、対象海域のバイアスを修正した浮魚資源総量を信頼区間とともに求める浮魚資源現存量の区間推定処理をコンピュータに実行させるプログラムであって、

前記コンピュータに前記第3実施例の手順F、及び、手順Gを実行させるためのプログラムからなる。

（記録媒体1）

本発明の記録媒体1は、集群性魚群に関する実測データが従う群れサイズ分布関数を用いて回帰分析を行い、この分析結果と魚の個体数密度との関係式を用い、対象海域のバイアスを修正した浮魚資源現存量指標を信頼区間とともに求める浮魚資源現存量の区間推定処理プログラムを記録した記録媒体であって、

40

前記コンピュータに前記第1実施例の手順A、手順B、手順C、手順D、手順E、及び、手順Fを実行させるためのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体からなる。

（記録媒体2）

本発明の記録媒体2は、集群性魚群に関する実測データが従う群れサイズ分布関数を用いて回帰分析を行い、この分析結果と魚の個体数密度との関係式を用い、対象海域のバイアスを修正した浮魚資源密度を信頼区間とともに求める浮魚資源現存量の区間推定処理プロ

50

グラムを記録した記録媒体であって、

前記コンピュータに前記第2実施例の手順A、手順B、手順C、手順D、及び、手順Eを実行させるためのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体からなる。

(記録媒体3)

本発明の記録媒体3は、集群性魚群に関する実測データが従う群れサイズ分布関数を用いて回帰分析を行い、この分析結果と魚の個体数密度との関係式を用い、対象海域のバイアスを修正した浮魚資源総量を信頼区間とともに求める浮魚資源現存量の区間推定処理プログラムを記録した記録媒体であって、

前記コンピュータに前記第3実施例の手順F、及び、手順Gを実行させるためのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体からなる。

10

(参考文献)

土井長之, 群集生態と推定理論. 数理科学 No. 198, 7-12 (December, 1979).

I. Hara, Estimation of fish density using the line intercept method. 日本水産学会誌 49, 1619-1625 (1983).

I. Hara, Distribution and school size of Japanese sardine in the waters off the southeastern coast of Hokkaido on the basis of echo sounder surveys. 東海区水産研究所研究報告 No. 113, 67-78 (1984). 原一郎, マイワシ現存量を直接推定する. さかな No. 35, 9-20 (1985).

20

I. Hara, Stock assessment of Japanese sardine in the waters off the southeast coast of Hokkaido using line transect method. 日本水産学会誌 52, 69-73 (1986). 原一郎, 索餌期におけるマイワシ魚群の移動と資源量推定に関する研究. 京都大学審査学位論文 (1990).

E. Bonabeau L. Dagorn, Possible universality in the size distribution of fish schools. Phys. Rev. E 51, R5220-R5223 (1995).

30

E. Bonabeau, L. Dagorn & P. Freon, Scaling in animal group-size distributions. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 96, 4472-4477 (1999).

J. J. Anderson, A stochastic model for the size of fish schools. Fishery Bull. 79, 315-323 (1981).

魚群の寸法サイズの構成尾数への変換については以下を参照。

O. A. Misund, Abundance estimation of fish schools based on a relationship between school area and school biomass. Aquat. Living Resour. 6, 235-241 (1993).

40

H. -S. Niwa, Configurational statistics of fish schools with reference to collective motion. 統計数理研究所共同研究レポート76, 数理生物学における決定論・確率モデルの基礎理論的研究, 132-143 (1995).

O. A. Misund & J. Coetzee, Recording fish schools by multi-beam sonar: potential for validating and supplementing echo integ

50

ration recordings of schooling fish. Fisheries Research 47, 149 - 159 (2000).

【0305】

【発明の効果】

本発明は、浮魚の群れなど集群性魚群が従う群れサイズ分布関数

【0306】

【式118】

$$W(N) \propto N^{-1} \exp \left[-\frac{N}{\langle N \rangle_P} \left(1 - \frac{e^{-N/\langle N \rangle_P}}{2} \right) \right]$$

10

【0307】

を用いて調査海域における魚群の平均群れサイズ N_p の回帰分析を行ない、この分析結果と、浮魚の単位面積当り個体数、つまり個体数密度、魚群の分裂確率 p 、及び、前記平均群れサイズ N_p との間に成り立つ関係式

【0308】

【式119】

$$\frac{\rho}{p} \propto \langle N \rangle_P$$

20

【0309】

を用い、対象海域の浮魚資源密度あるいは現存量のバイアスを修正した推定値を信頼区間とともに計算する、浮魚資源現存量の区間推定方法であり、以下の効果を奏する。

(1) シミュレーションおよび実験データによって検証された魚群サイズ分布関数は、極めて少ないパラメータ数によって実測データの特性を極めて良く示すことができるので、極めて正確な回帰分析が可能であり、従って、極めて正確な現存量の推定を行うことができる。

(2) 魚群サイズ分布モデルに基づく浮魚資源現存量の区間推定方法は、困難なランダム・サンプリングを必要とせず、経験的あるいは試行錯誤的に仮定された資源分布の空間構造モデルによらずに、浮魚資源現存量の区間推定を行なうことができる。

30

(3) 魚群サイズ分布モデルに基づく浮魚資源現存量の区間推定方法は、リサンプリング法による計算処理と異なり、確率的手法を用いないので信頼区間が確定できる。

(4) 魚群サイズ分布モデルに基づく浮魚資源現存量の区間推定方法は、集群性を有する浮魚に関して、測定海域における予め設定された航路に沿って調査船が魚群探知機等で計測した魚群データなど、魚群の数密度が算出できるデータに加え、漁業統計、例えば、まき網漁業による漁獲データなど、魚群密度の算出が困難なデータを含め、実測した群れサイズの頻度分布データを用い、資源量特性（現存量指標）の評価とともに、その信頼性を推定できる。

(5) リサンプリング法などノンパラメトリックな統計学的処理では修正できない、実測データの歪みに基づく推定値のバイアスを、本発明の浮魚資源現存量の区間推定方法では、魚群が従うサイズ分布に関する自然法則に基づいた回帰分析により修正することができる。

40

(6) 魚群サイズ分布モデルに基づく浮魚資源現存量の区間推定方法は、コンピュータによる区間推定の計算処理を極めて短時間の内に行なうことができる。

(7) 本発明は、前記浮魚資源現存量の区間推定方法を実行するようにプログラムを構成するので、このプログラムを実行することにより、極めて正確な現存量の推定を行うことができる。

(8) 本発明は、前記浮魚資源現存量の区間推定方法を実行するプログラムを記憶する記憶媒体を構成するので、この記憶媒体から読み出してプログラムを実行することにより、

50

極めて正確な現存量の推定を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1 (a)】本発明の浮魚資源現存量の区間推定方法における第 1 実施例のフローチャートの前半を示す図である。

【図 1 (b)】本発明の浮魚資源現存量の区間推定方法における第 1 実施例のフローチャートの後半を示す図である。

【図 2 (a)】本発明の浮魚資源現存量の区間推定方法における第 2 実施例のフローチャートの前半を示す図である。

【図 2 (b)】本発明の浮魚資源現存量の区間推定方法における第 2 実施例のフローチャートの後半を示す図である。

【図 3 (a)】観測 (実測) データによる旋網により漁獲されたマグロ類の群れサイズ分布を説明する図である。

【図 3 (b)】観測 (実測) データによる誘引体の近傍で漁獲されたマグロ類の群れサイズ分布を説明する図である。

【図 3 (c)】観測 (実測) データによるカタクチイワシの群れサイズ分布を説明する図である。

【図 3 (d)】観測 (実測) データによるマイワシの群れサイズ分布を説明する図である。

【図 4】群れサイズ分布をシミュレーションするための格子モデルの説明図である。

【図 5】移動 (回遊) - 合併 - 分裂を行う前記格子モデルを示す図である。

【図 6 (a)】総個体数を変化させたときの群れサイズ分布のシミュレーション結果を表す図である。

【図 6 (b)】分裂確率を変化させたときの群れサイズ分布のシミュレーション結果を表す図である。

【図 7】ある魚 A が或る時刻 t にサイズ $N_A (t)$ の群れに所属する状態を表す説明図である。

【図 8】群れのサイズ変化の時系列を表す図である。

【図 9】魚群サイズの指数関数ゆらぎを説明する図である (片対数スケール) 。

【図 10】魚群の平均サイズのポピュレーション密度および魚群分裂確率への依存性を示し、 N_p 対 $2 / p$ の特性図である (シミュレーション結果) 。

【図 11】群れサイズ分布のシミュレーション結果を表す図である。

【図 12】観測 (実測) データによる各魚種毎の群れサイズ分布を表す図である。

【図 13】図 12 の観測データ (階級別度数集計表) を示す図である。

【図 14】図 13 の付属データを示す図である。

【図 15】図 13 および図 14 に示したデータセット 2 の寸法サイズ R を構成尾数 N に換算し、階級別度数集計した図である。

【図 16】図 13 および図 14 に示したデータセット 2 のマイワシ魚群のサイズ分布を示す図である。

【図 17】図 13 および図 14 に示した全てのデータセットについてのマイワシ資源現存量の区間推定特性図である。推定結果の変動係数は図中に埋め込んである。

【図 18】図 13 および図 14 に示した全てのデータセットについてのマイワシ資源現存量指標の区間推定特性図である。推定結果の変動係数は図中に埋め込んである。

【符号の説明】

b 格子間隔

s 格子点の総数

N 群れサイズ

$N (t)$ 時刻 t における群れサイズ

p 分裂確率

P シミュレーションで設定する魚の総数 ($P = \quad \times s$)

$W (N)$ 群れサイズの (定常) 分布

10

20

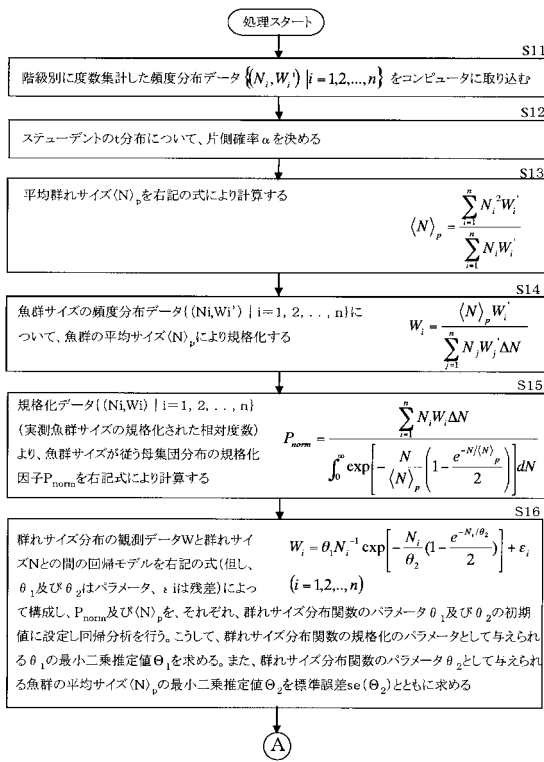
30

40

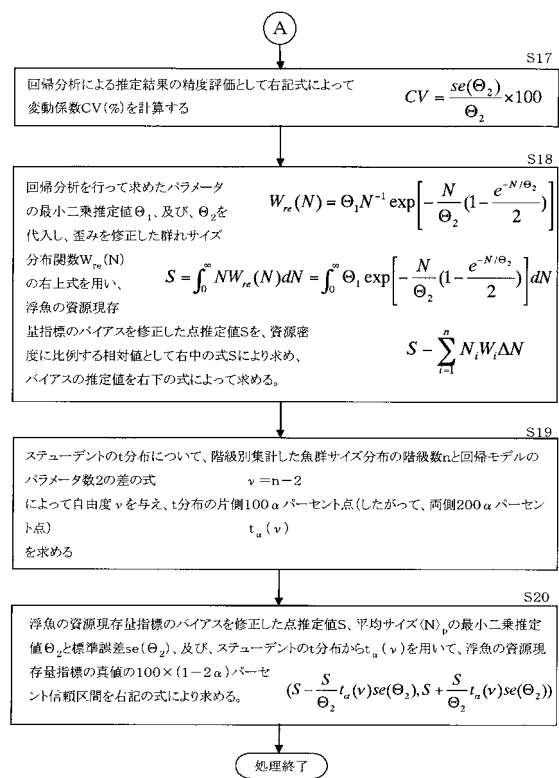
50

- W^(s.c) (N) N_p = 1 にスケールされた群れサイズの (定常) 分布
- L 単位長さ
単位面積 (L²) あたり魚群の数
単位面積 (L²) あたり魚の数 (個体数密度)
- S 浮魚の資源密度の最小二乗法による点推定値
- N_i 群れサイズの階級値
- N 群れサイズの頻度分布データの階級幅
- W_i i 番目のサイズ階級の群れの相対度数
- W_i^(s.c) 平均群れサイズでスケールされた群れサイズの階級別度数集計した頻度分布データ
- n 群れサイズの階級別度数集計した頻度分布データの階級数
- N_p 任意のある1つの魚が属する群れサイズの期待値となる平均群れサイズ
- W_{re} (N) 最小二乗法によりデータに当てはめた群れサイズ分布関数
- t () 自由度 のステューデント t 分布の片側確率 の点
回帰モデルのパラメータ
回帰分析によるパラメータの最小二乗推定値
- se () 最小二乗推定値 の標準誤差
漁場の面積あるいは浮魚の調査海域の面積
- S_{tot} 所定の漁場あるいは海域における浮魚資源現存量の点推定値

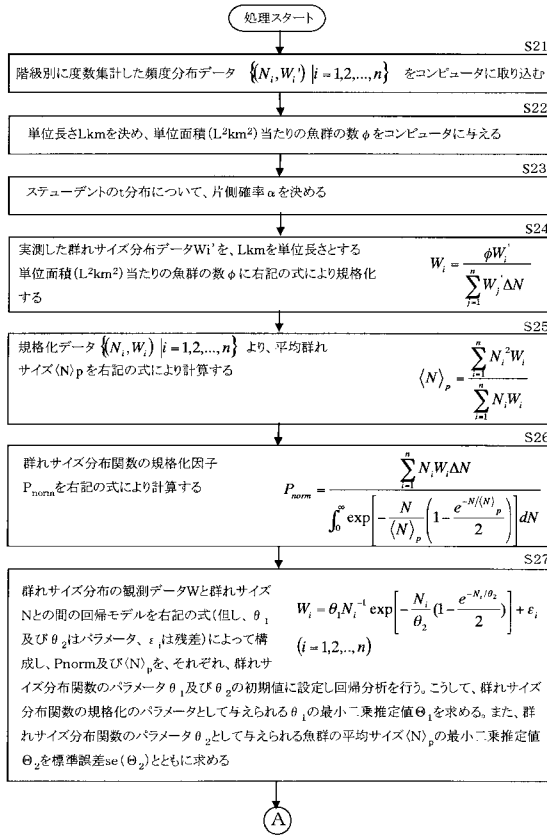
【 図 1 (a) 】



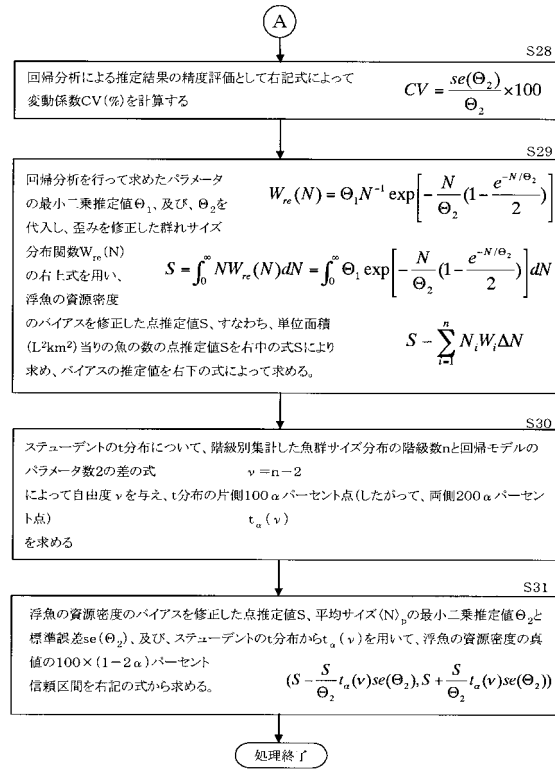
【 図 1 (b) 】



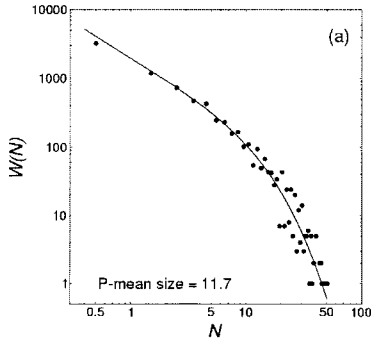
【 図 2 (a) 】



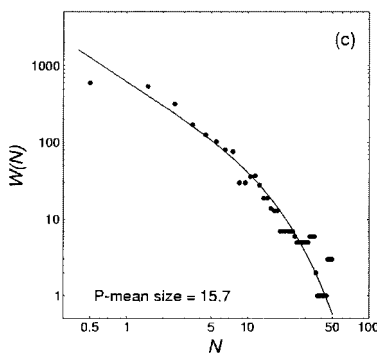
【 図 2 (b) 】



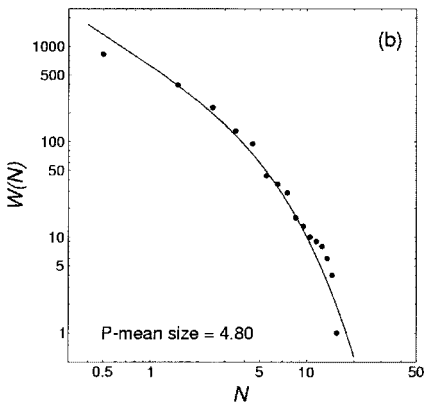
【 図 3 (a) 】



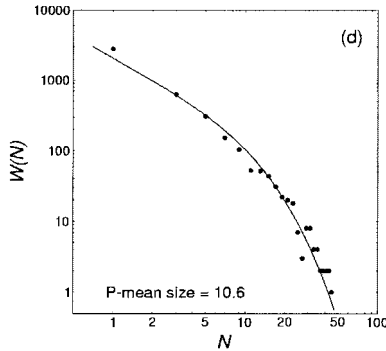
【 図 3 (c) 】



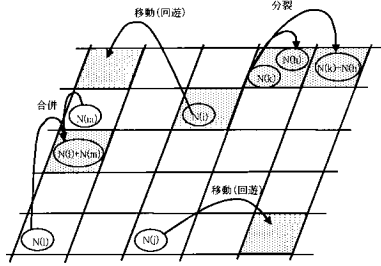
【 図 3 (b) 】



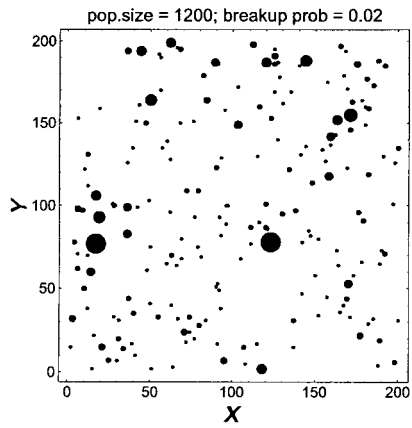
【 図 3 (d) 】



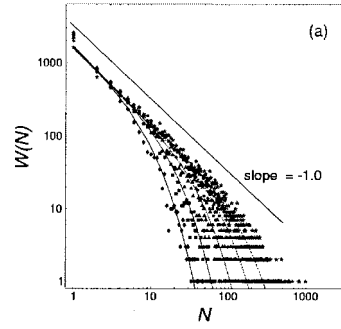
【 図 4 】



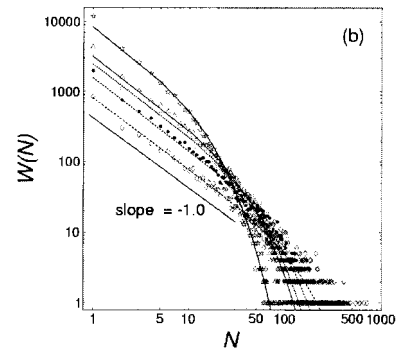
【 図 5 】



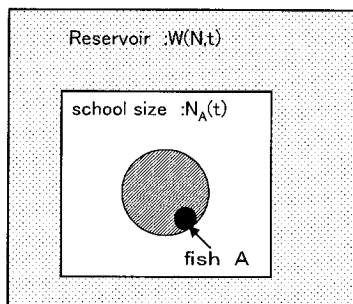
【 図 6 (a) 】



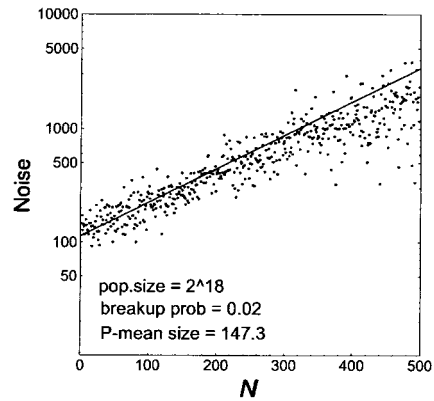
【 図 6 (b) 】



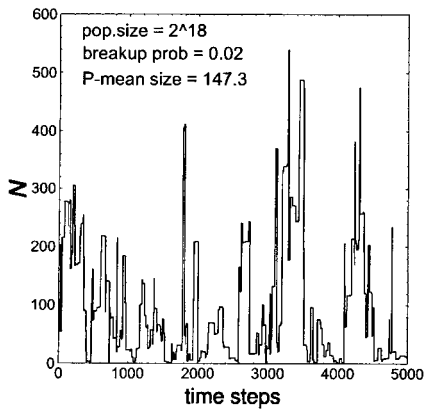
【 図 7 】



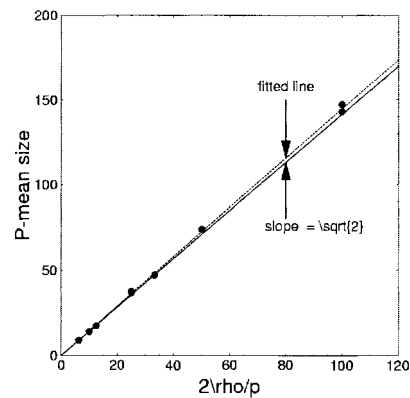
【 図 9 】



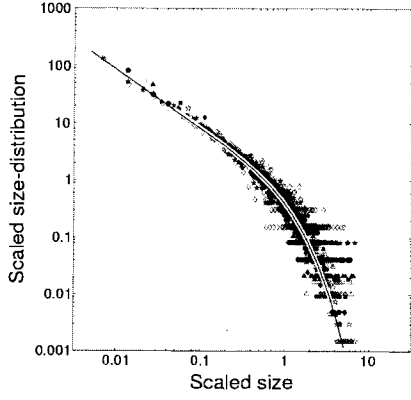
【 図 8 】



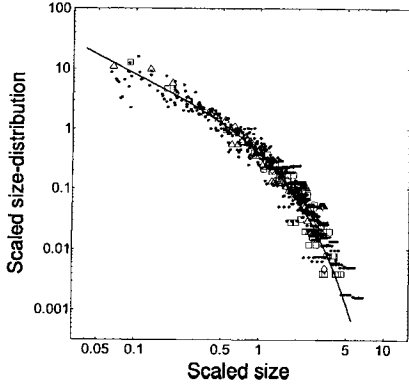
【 図 10 】



【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



【 図 1 3 】

	0-2m	2-	4-	6-	8-	10-	12-	14-	16-	18-	20+	合計
[1]	84	203	58	20	9	3	2	1	0	0	0	380
[2]	162	672	302	189	89	54	29	10	7	3	5	1522
[3]	144	354	125	105	52	64	44	19	13	6	24	950
[4]	510	411	148	121	59	59	38	16	10	5	11	1388
[5]	2	105	239	144	115	51	45	21	9	8	13	752
[6]	184	1070	450	102	51	26	4	10	4	4	0	1905
[7]	328	2051	743	152	99	52	8	14	3	3	0	3453
[8]	64	577	393	184	57	52	27	21	12	9	17	1413
[9]	10	173	114	65	19	24	15	18	6	3	12	459 (*1)
[10]	3	60	78	45	17	18	5	9	7	1	4	247 (*2)
[11]	27	298	317	113	35	39	6	13	2	4	2	856
[12]	7	112	76	47	22	16	3	4	4	1	1	293
[13]	53	175	63	41	18	16	6	2	3	0	5	382 (*3)
[14]	26	107	77	71	44	35	20	14	11	4	33	442
[15]	30	105	83	70	36	34	25	17	15	18	34	467
[16]	28	106	93	83	45	52	31	18	17	12	30	515
[17]	92	197	110	86	61	63	30	15	10	6	21	691
[18]	8	52	67	62	50	43	30	14	10	6	30	372
[19]	18	66	71	80	43	71	42	21	10	5	14	441
[20]	30	117	104	72	51	52	36	18	22	11	23	536
[21]	27	83	59	46	15	23	15	6	5	1	4	284
[22]	28	53	53	38	29	38	20	15	11	4	16	305

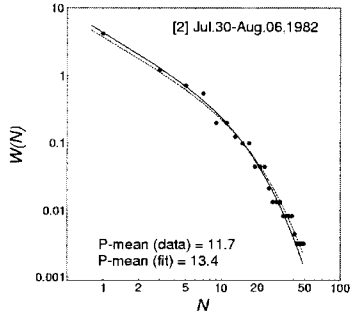
【 図 1 4 】

航海	調査時期	魚群数	航走距離(海里)	密度(群/海里)	魚群の平均切断長(m)
[1]	1981 8/27-8/30	380	198	1.9	13.7
[2]	1982 7/30-8/06	1522	654	2.3	20.9
[3]	1982 8/18-8/21	950	651	1.5	20.9
[4]	1982 9/07-9/11	1388	649	2.1	15.2
[5]	1983 7/12-7/26	752	734	1.0	35.0
[6]	1984 7/29-8/03	1905	702	2.7	25.2
[7]	1984 8/07-8/14	3453	638	5.4	25.2
[8]	1986 7/15-7/18	1413	478	3.0	29.3
[9]	1986 7/20-7/21	383 (*1)	193	2.0	47.7
[10]	1986 7/22-7/23	231 (*2)	193	1.2	42.3
[11]	1986 7/26-7/27	856	242	3.5	28.1
[12]	1986 8/18-8/20	293	242	1.2	53.9
[13]	1986 8/26-8/27	394 (*3)	215	1.8	34.2
[14]	1987 7/19-7/20	442	205	2.2	39.1
[15]	1987 7/21-7/22	467	205	2.3	42.7
[16]	1987 7/23-7/24	515	205	2.5	58.0
[17]	1987 7/27-7/28	691	242	2.9	48.9
[18]	1987 7/29-7/30	372	203	1.8	47.4
[19]	1987 8/17-8/18	441	242	1.8	55.2
[20]	1987 8/19-8/20	536	242	2.2	35.5
[21]	1987 8/21-8/21	284	74	3.8	49.6
[22]	1987 8/23-8/24	305	205	1.5	35.2

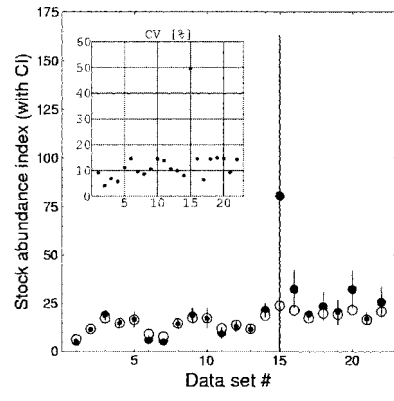
【 図 1 5 】

i	N _i	W _i
1	1	4.1819
2	3	1.21145
3	5	0.709018
4	7	0.541542
5	9	0.198342
6	11	0.198342
7	13	0.123432
8	15	0.0984621
9	17	0.0984621
10	19	0.0447428
11	21	0.0447428
12	23	0.0447428
13	25	0.0212142
14	27	0.0133714
15	29	0.0133714
16	31	0.0133714
17	33	0.0082588
18	35	0.0082588
19	37	0.0082588
20	39	0.0082588
21	41	0.00443988
22	43	0.00316691
23	45	0.00316691
24	47	0.00316691
25	49	0.00316691

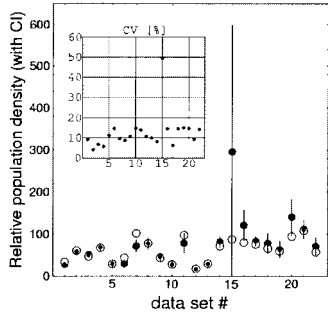
【 16 】



【 18 】



【 17 】



フロントページの続き

【要約の続き】

すなわち、平均群れサイズが浮魚資源密度に比例するという関係式を用い、対象海域の浮魚資源密度、現存総量、あるいは資源量指標のバイアスを修正した推定値を信頼区間とともに求める、浮魚資源現存量の区間推定方法に基本的な特徴を有する。

【選択図】なし