

附録1：日本沿岸海域におけるスナメリのセスナ機目視調査要領

白木原国雄，白木原美紀

1. 調査目的

スナメリの出現が確認されている主要な海域において，セスナ機を用いて目視調査を行い，個体数と分布を定量的かつ海域間の比較が可能な形で把握することを目的とする。

2. 調査海域，日程及び回数

大村湾，有明海・橘湾，瀬戸内海(隣接する響灘の一部を含む)，伊勢湾・三河湾，外房沿岸仙台湾を調査対象海域とし，2000年3～6月にかけて，予備飛行訓練1回，各海域の本調査をそれぞれ1回（瀬戸内海でかりに8日間かけて複数回の飛行を行っても，瀬戸内海の調査回数は1回）ずつ行う。ただし日本哺乳類学会で絶滅危惧とランク化されている大村湾個体群については，推定精度をあげるために2回調査を行う。

また，伊勢湾で船とセスナ機の発見率の相違を調べるために，船・セスナ機同時並行目視調査（伊勢湾口の鳥羽 伊良湖のフェリーから目視を1日3往復，同日にフェリー航路上をセスナ機で5往復，単位距離あたりの平均発見頭数の比較）を1回行う。

3. 調査体制

代表者 白木原国雄(三重大生物資源)

調査ライン設計のアドバイス 岸野洋久(東大農学生命科学)

目視調査(各海域とも観察者2名，記録者1名，*責任者)

瀬戸内海以西海域 *白木原国雄，白木原美紀，山本祥輝(三重大生物資源)

伊勢湾・三河湾 *吉岡基，喜多祥一(三重大生物資源)，篠原正典(京大理)

外房沿岸以北 *天野雅男(東大海洋研)，中原史生(常磐大)，早野あずさ(京大理)

船・セスナ機同時並行目視調査 *白木原国雄，白木原美紀

瀬戸内海以西班と伊勢湾・三河湾班に協力依頼予定

アドバイザー 粕谷俊雄(三重大生物資源)

4. 調査方法の概要

今回の調査は、日本全国の主要分布域での個体数を比較することが主な目的なので、目視方法を長崎沿岸海域で行われた方法(Yoshida et al., 1997, 1998)に統一する。すなわち、

使用する飛行機：操縦士を含めた4人乗り

1回の飛行に参加する調査員：観察者2名と記録係1名

飛行高度：法律で決められた最も低い高度の500フィート(152m)

飛行速度：80~90ノット(時速148~167km)。可能であれば80ノット

目視方法：ライントランセクト法に基づく視野固定方式

今回、予算の制約のため、調査ライン上の発見率 $g(0)$ の推定は行わないが、海域ごとに目視方法を変えると $g(0)$ が変化するかもしれない、海域間の密度の比較が困難になる。この点でも目視方法の統一は必要である。4人乗りの飛行機に固定するのは費用が最も安いことと調査員の確保の点からである。飛行高度については、高度を上げると、観察面積が広がるかわりにスナメリを発見しにくくなる。高度を下げると、スナメリを発見しやすくなるかわりに飛行機の爆音で水面付近にいた個体が水中に潜る危険性がある。長崎周辺での予備飛行実験から、高度500フィートがベストとの判断を得ている。飛行速度についても費用と発見の容易さのトレードオフがあるが、可能な限り速度を落とす方が良いとの判断を得ている。目視方法としては、鯨類の調査に広く用いられているライントランセクト法を採用する。この方法では調査ラインと発見個体との距離(横距離)の測定が必要である。その方法として、飛行機の窓に透明シートを貼り、発泡スチロールでつくった観察スタンドを観察者と窓の間に置き、窓と眼の距離を一定に保ちつつ、窓からスナメリが見えた所を透明シート上に打点する方式を採用する。この方式では飛行機が既知の高度を水平飛行している限り、横距離を算出できる。

5. 分布、個体数に関する既往知見(粕谷氏より提供)

5-1. 日本全域の分布

全国の漁業協同組合にスナメリ発見の有無を問うアンケートを実施したところ(Shirakihara et al., 1992)、主たる分布域(スナメリを見たことがあると回答した漁協が多かった海域)は有明海、八代海、橘湾、大村湾、響灘(博多湾~山口県日本海側)、瀬戸内海、伊勢湾、三河湾、東京湾から仙台湾で、この他、相模湾、島根県の一部の漁協からも見たことがあるとの回答が得られた。主たる分布域に共通する地形的特徴は水深50m以浅域が沖合に広がる遠浅で岩場でないことであった。

5-2. 大村湾

1989-91年に船による(Shirakihara et al., 1994), 1993-94年に飛行機による目視調査が行われた(Yoshida et al., 1998). 前者では, スナメリは春に沿岸から沖合にかけて発見されたが, 他の季節では岸寄りの発見が多かった. 後者では, 5月は全域的な分布を示し, 他の季節は沿岸寄りで発見があった. 飛行機目視による個体数推定値は187頭であった(調査ライン上の発見率 $g(0)$ を100%として $g(0)$ 補正せず). 飛行機目視で得られた生息密度は5月が最大で(他の季節の推定値との統計的差は認められず), 0.6 頭/ km^2 ($g(0)=100\%$)であった.

5-3. 有明海・橘湾

1988-92年にフェリーによる(Shirakihara et al., 1994), 1993-94年に飛行機による目視調査が行われた(Yoshida et al., 1997). 飛行機目視から有明海ではほぼ全域的に, 橘湾では東部中央域での発見が多かった. 八代海北部では発見がなかった. 飛行機目視による個体数推定値は3093頭($g(0)=100\%$)であった. 飛行機から推定された生息密度は 1.3 頭/ km^2 で(有明海, 橘湾でそれぞれ 1.2 , 1.4 頭/ km^2 , $g(0)=100\%$), 5月に最大となった. ただし, 他の季節の推定値との統計的差は認められなかった. フェリーによる目視では, 有明海中部では4月に最も密度が高く 3.0 頭/ km^2 , 8月に最低の 0.325 頭/ km^2 となった. 有明海と橘湾の境界部では夏から秋にかけて発見数が増加し, 発見のピークの季節的なずれから, 有明海と橘湾間の季節移動が示唆された.

5-4. 響灘

1985-87年に船での目視調査が行われた(白木原, 未発表). 下関市吉見~北九州市藍島間での目視調査では, スナメリはもっぱら藍島周辺で発見された. 北九州市小倉~藍島の渡船による目視では, 関門海峡内での発見は少なく, 発見は馬島~藍島に集中しており, 季節的には夏とくに7月に発見個体数が多かった(1985年, 馬島~藍島間の10分の航行中に平均5頭発見). 現在, 藍島でスナメリ対象のウォッチングが行われている.

5-5. 瀬戸内海

1976-78年(Kasuya and Kureha, 1979), 1999年(粕谷・山本, 1999)にフェリーからの目視調査が行われた. 1976-78年には, 岸から1海里(1850m), 3海里以内の発見個体数は全発見個体のそれぞれ82.4%, 99.4%で, ほとんどの発見が水深40m以内にあり, 東部のみならず西部からも広く発見があった. 一方, 1999年には東部での発見はほとんどなかった. 1976-78年には, 航走100km当たり遭遇率は5.2群/100kmであった. これは発見頭数10.3(1,194頭/11,549km)を平均群サイズ1.97頭で除して得たもので, 全季節を合算した値である. 一方,

1999年には、航走100km当たり1.0群(35群/3354km)、あるいは3.2頭(107頭/3354km)と、遭遇率は20年前の数分の1に減少していた。1976-78年、個体数は4,900頭($g(0)=0.5$ で補正)と推定された。これは最大密度を示す4月の値で、精度の問題を無視すれば、最低密度の9-11月にはその半分程度となる。生息密度は、1976-77年の4月の値は0.34頭/km²($g(0)=0.5$ で補正)で、現在はこの数分の1であろう(粕谷、私信)。

5-6. 伊勢湾・三河湾

1991-94年(宮下ほか、1994)に船による目視調査が行われた。群遭遇率は、航走100km当たり8.7群(全季節、三河湾・伊勢湾合算)であり、個体数は、4-6月の値で、1,952頭(伊勢湾946頭、三河湾1,004頭の計)と推定された。これは水族館におけるスナメリの潜水・浮上パターンと船速からシミュレーションによる $g(0)=0.899$ で補正した値である。 $g(0)$ の補正をしなければ、1,755頭となる。生息密度は、三河湾で1.50頭/km²、伊勢湾で0.49頭/km²となった。いずれも密度の高くなる4-6月の値である。 $g(0)$ 補正をしなければ、この密度はそれぞれ1.35、0.44頭/km²となる。

5-7. 仙台湾～内房沿岸

周年生息する事が知られているが、分布範囲、生息密度等は未調査である。スナメリ対象とは限らないが、銚子でイルカウォッチングが行われている。

6. 目視による個体数の推定原理

2人の観察者がセスナ機の右側と左側の座席に座り、窓から進行方向のそれぞれ右側と左側の海面を目視観察する状況を考える。セスナ機の総移動距離を L 、各観察者の観察する横距離(セスナ機の進行方向に直角な距離) w とすると、観察海面面積は $2Lw$ である。なお、セスナ機が一定の高度を保ちつつ水平飛行を行えば、窓からの観察範囲を固定することにより w を一定値に保つことができる。この観察で見落としが全くなく($g(0)=100\%$)、2名が合計 n 頭のスナメリを発見できたとすると、観察面積内の生息密度 D は $n/2Lw$ となる。観察面積を調査海域全体を代表できるように選んでいれば、 D はそのまま全域の生息密度の推定値となる。

$$D(\text{estimated}) = n/2Lw \quad (1)$$

これに調査海域面積 A を乗じて、全域の個体数推定値を得る。

$$N(\text{estimated}) = An/2Lw \quad (2)$$

このように観察者の観察横距離を固定して、観察者が調査線上を移動しながら観察する方法はストリップトランセクト法と呼ばれる。一方、事前に横距離を固定せずに、観察者が調査線上

を移動しながら観察し、発見があると、発見頭数の計数のみならず対象物までの横距離を測定する方法はライントランセクト法と呼ばれる(岸野, 1991)。

ライントランセクト法を採用すると、進行方向近くの個体に較べて遠くの個体を見落とす恐れがある。しかし、このことは気にしない。この方法では横距離の測定データをもとに、発見確率と横距離の関係を定量的に表し、この関係から有効探索幅の推定値 $w(\text{estimated})$ を得る。ライントランセクト法でも上記の個体数推定の考え方を適用できる。

$$D(\text{estimated}) = n/2Lw(\text{estimated}) \quad (3)$$

$$N(\text{estimated}) = An/2Lw(\text{estimated}) \quad (4)$$

ただし、個体数の推定精度を求める時に、 $w(\text{estimated})$ の推定精度の考慮が必要となる。個体数推定値の分散の推定値は

$$v[N(\text{estimated})] = N(\text{estimated})^2 \{v[n]/n^2 + v[w(\text{estimated})]/w(\text{estimated})^2\} \quad (5)$$

ここで v は分散の推定値を表す。変動係数 cv (推定値の分散の平方根/推定値) を用いて表現しなおすと

$$cv[N(\text{estimated})]^2 = cv[n]^2 + cv[w(\text{estimated})]^2 \quad (6)$$

(6) から、個体数推定値の精度は総発見個体数 n のばらつきと有効探索幅の推定精度に影響されることが分かる。同じ長さ l の k 本の調査線からの発見頭数が n_1, n_2, \dots, n_k であった時 ($L = lk, n = \sum n_j$)、総発見個体数 n の分散推定値は経験的に次のように与えられる(Bucklandら, 1993)。

$$v(n) = k \sum (n_j - n/k)^2 / (k-1) \quad (7)$$

(7) から明らかなように、 n_j のばらつきが大きいと $v(n)$ が大きくなり、個体数推定値の精度が落ちる。

今回、採用する長崎方式はライントランセクト法に基づくが、部分的にストリップトランセクト法の考え方も採用している。つまり、観察者の眼の疲労を防ぐために発見効率の悪い遠方は観察せず、1名の探索幅を横距離で 450m 以内に固定し、この範囲内でスナメリまでの横距離データをとる。

7. 実際の目視調査を行うにあたって

7-1. 1回の飛行時間

長時間の調査を行うと、観察者は疲労により発見能力を落とすことが経験的に分かっている。1本の調査ラインでの連続観察時間をおおよそ10分以下(調査ライン間の移動時に目を休めることを前提として)を原則とする。4人乗り飛行機はトイレがないので、1回の飛行時間(離陸から着陸までの時間)は4時間以内とする。

7-2. 大村湾, 有明海・橘湾

1993-94年の飛行機目視調査とほぼ同じとする(Yoshida et al. 1997, 1998)。大村湾では同一日に2回の調査を行い、計24本の調査ラインを置く。のべ飛行時間は4時間となる。有明海・橘湾では、橘湾西部の水深60m以深域を密度ゼロとみなして調査せず、また、推定精度を高めるために、有明海・橘湾ともに2海里間隔に東西方向の調査ラインを、有明海で21本、橘湾で8本設置する。飛行回数は3回、調査日数は3日とする。

7-3. 瀬戸内海

調査面積が広大な本海域については、他海域の調査がすべて終了した時点での予算残額を踏まえて、最終決定する。現段階では、東部では船による目視からほとんど発見はない(粕谷・山本 1999)ことを考慮して、東部は9海里間隔に13本、西部は6海里間隔に21本とする。なお、東部については、分布密度の低いと予想される大阪湾と水深60m以深域の割合の高い紀伊水道は調査を行わない。1回の飛行時間の制約を考慮して、調査は8回の飛行、8日を要する。

7-4. 伊勢湾・三河湾

伊勢湾では東西方向に14本(3海里間隔)、密度がより高いと期待され面積の小さい三河湾では南北方向に10本(2海里間隔)とする。3回の飛行、3日間の調査とする。

7-5. 仙台湾～内房沿岸

分布についての情報は調査対象海域中最も少ない。調査海域全域をカバーするように調査ラインを東西方向に33本(6海里間隔)、各調査ラインの東端を水深60m点とする。4回の飛行、4日間の調査。

8. 主な調査機材

8-1. GPS

実際の飛行コースを記録するために、GPSを常時作動させて、位置データをコンピュータに垂れ流し方式で保存する。できればディファレンシャルGPSの使用が望ましい。飛行機の電源(通常はDC12Vあるいは24V)を使用する時には、電源の形に応じたプラグを取り付けたDC-AC変換器を準備する。飛行中のGPSの動作確認は、調査ライン間の移動時などに観察者が行う。

8-2. 音声録音装置

スナメリが次々に発見される状況では、発見野帳の記入が追いつかないことがある。音声録音可能なビデオカメラかテープレコーダを、観察者の近くに置き、調査中常時作動させる。飛行中の装置の動作確認、テープ交換は、調査ライン間の移動時などに観察者が行う。

8-3. 観察者視野固定用の観察スタンドと横距離測定用シート

飛行機の窓と眼との距離を一定に保たないと、観察範囲を一定に保持することができない。このため、観察者が額をつけて頭を固定する発砲スチロール製のスタンドをガムテープと両面テープで窓に取り付ける。また、横距離測定用の透明シートを両面テープで窓にはる。透明シートは1本の調査ラインについて1枚を用意し、打点には油性のマジックを用いる。

8-4. 野帳と飛行コースの地図

飛行・天候・発見記録などを記入する野帳は、1本の調査ラインに1枚用意する(13参照)。空港と調査地の往復にも各1枚ずつ使用し、その間にスナメリや他の動物の発見があった場合には、必要事項を記入する。1回の飛行調査に用意する野帳の枚数は調査ライン数に2を足した数以上。また、海図のコピーに飛行コースをひいて機内に持参し、記録係が常に現在位置を把握できるように努める。

8-5. その他

調査中にカメラやビデオを用いてスナメリを撮影する余裕はほとんどないが、スナメリの大群や他鯨種に遭遇し、旋回して群れサイズや種の同定を行う際などに撮影機会があるかもしれないので、機内への持ち込みは調査実施者の判断に任せる。