

超音波散乱層の音響リモートセンシング
に関する基礎的研究

稲垣 正

①

超音波散乱層の
音響リモートセンシング
に関する基礎的研究

稲垣 正

1992

目次

	頁
第 1 章 緒論	1
1. 1 緒言	1
1. 2 超音波散乱層に関する研究史	2
1. 3 本研究の目的	6
1. 4 本論文の構成	7
1. 5 主な使用した記号	8
第 2 章 関連する主な水中音響理論および用語	10
2. 1 緒言	10
2. 2 ターゲットストレンジス	10
2. 3 単体散乱因子のソナー方程式	12
2. 4 体積散乱強度とソナー方程式	13
2. 5 ターゲットストレンジスと体積散乱強度の関係	16
2. 6 平均体積散乱強度	17
2. 7 吸収減衰	18
2. 8 水中音速	19
第 3 章 資料	20
3. 1 KH-89-2 (世界一周航海)	20
3. 2 KH-91-2 (第 5 次ウナギ航海)	21
3. 3 KH-87-4 (東北沖・暖水塊航海)	23
第 4 章 魚群探知機システムおよび校正とデータ補正	24
4. 1 魚探システム	24
4. 2 ABIS の周波数選択	24
4. 3 計量魚群探知機システム・ABIS	26
4. 3. 1 システム構成	
4. 3. 2 データ処理	

4. 4	ABISの校正および校正結果	28
4. 4. 1	校正方法	
4. 4. 2	校正結果	
4. 5	データ補正について	30
4. 6	パラメータ補正	31
4. 6. 1	校正誤差補正	
4. 6. 2	吸収減衰補正および音速補正	
4. 7	定常補正	35
4. 7. 1	ノイズ補正	
4. 8	非定常補正	38
4. 8. 1	動揺補正	
4. 8. 2	航走減衰補正	
4. 8. 3	干渉および欠測補正	
4. 9	本研究におけるデータ補正および補正手順	39
4. 10	論議	39
第5章 超音波散乱層の分布および平均体積散乱強度		42
5. 1	緒言	42
5. 2	散乱層の形態	42
5. 3	世界主要海域の散乱層の分布および平均体積散乱強度	43
5. 4	散乱層分布と水温構造の比較	46
5. 5	散乱層分布と塩分構造の比較	47
5. 6	論議	50
第6章 平均体積散乱強度と生物量		54
6. 1	緒言	54
6. 2	生物採集	55
6. 3	結果および考察	56
6. 3. 1	生物採集点、採集層および曳網の安定性	
6. 3. 2	平均体積散乱強度	

6. 3. 3	生物量	
6. 3. 4	平均体積散乱強度と生物量	
6. 3. 5	生物量誤差	
6. 4	論議	63
第7章	散乱モデルの選択	65
7. 1	緒言	65
7. 2	モデルの設定	65
7. 3	結果および考察	68
7. 4	論議	73
第8章	生物サイズの推定および生物量の推定	75
8. 1	緒言	75
8. 2	生物サイズの推定方法および結果	75
8. 2. 1	変数 C_r	
8. 2. 2	生物サイズの推定方法	
8. 2. 3	モデルの係数の取り扱いについて	
8. 2. 4	モデルによる S V 差の序列	
8. 2. 5	計測データのサイズランク	
8. 3	生物量の推定方法および結果	85
8. 3. 1	変数 C_{ra} およびパラメータ値	
8. 3. 2	変数 C_{ra} による補正	
8. 4	採集生物の分別方法の検討および結果	88
8. 4. 1	分別方法の検討	
8. 4. 2	採集生物およびサイズ組成	
8. 4. 3	分類群別の生物量およびサイズ	
8. 5	推定サイズランクと実測生物サイズの検討および結果	91
8. 6	変数 C_{ra} 補正と計算生物量の検討および結果	92
8. 7	推定生物量と推定幅	96
8. 8	論議	97

第9章 世界主要海域の生物量および生物サイズの推定	99
9.1 緒言	99
9.2 結果および考察	99
第10章 総合論議	102
謝辞	105
参考文献	106
図および表	112
付図	200
附表	222

第1章 緒論

1. 1 緒言

魚群探知機（以下魚探と略称する）をはじめとする漁業用音響機器は近代漁業には欠くことのできないものであり、その仕様および性能向上にはめざましいものがある。近年になり、これらの漁業用音響機器の利用および技術開発は単に漁労時の漁獲対象生物の発見、確認を目的としたものではなく、水産資源調査、海洋生物の生態調査など多岐にわたった調査・研究分野に及んでいる。これは、漁業技術の発達、水産資源の需要量増加に伴う乱獲等による資源の減少および国際的に議論され始めた資源管理体制の中で有用生物を海洋生態系の一部として捉える観点からの音響機器使用が注目されてきたからである。このような状況の中で音響機器を海洋現場において目的に応じた調査・研究に充分活用できる計測手法を確立することが急務であるが、まだ多くの解決すべき基礎的課題が残されている。

その一つに、超音波散乱層（scattering layer）に関連した問題がある。超音波散乱層は海洋に広く分布し、音響機器による計測で存在を確認することは容易となったが、周波数および海域、季節、時刻等の様々な条件により、その分布形態は異なっている。超音波散乱層を構成するものは、動物プランクトンおよびマイクロネクトン等の生物が主体であるが、その実態のすべてが明らかになっているわけではない。これら超音波散乱層の存在は、浮魚を対象とした資源量調査を考える場合には、対象魚からの音響情報と共に取得され、資源の量的評価を過大に見積る要因となる。すなわち、不要な音響情報であり厄介な存在となっている。一方、魚類分布に関連した魚類の餌料生物として超音波散乱層の存在を捉えた場合には非常に有用な情報となる。さらに、超音波散乱層の分布が海域、海洋構造と密接な関係にあることも一部知られており、水塊構造、漁場環境も含めた計測も可能である。

本論文では後者の立場で超音波散乱層からの音響情報を積極的に有用情報として扱い、複数周波数による調査結果を基に超音波散乱層の分布、変動、量的把握および海洋構造との関連を水産音響学的見地から解析、考察した。

1. 2 超音波散乱層に関する研究史

超音波散乱層（以下散乱層と略記する）を対象とした研究の歴史は浅く、50年程度のものであり、魚探の開発、発展と共に進展した。散乱層に関する研究の発展は3段階に分けられる。

第1段階は散乱層の発見から1960年代中期までの低周波数（30kHz以下）利用期で、1940年に橋本（1951）が千葉県野島崎沖で500mの深度に存在を発見し、これをN層と名付けた時から日本では始まる（宇田 1952）。しかし、諸外国の文献によると散乱層の発見は1942年である。この層は、昼間150～450 fathomの深さに広い範囲で水平に広がる50 fathom程度の厚みを有する層として観測され（Eyring, Christensen and Raitt 1948）、発見者らの頭文字を取りECR層と呼ばれ、後に deep scattering layer (DSL) と称された。

Johnson (1948) は1945年米国サンディエゴ沖で18kHzの測深機により散乱層の昼夜観測を行い、観測された散乱層が昼夜で鉛直移動する日周変動を見いだした。この日周鉛直移動は、良く知られた多くの動物プランクトンの行動と一致した挙動をすることを確認し、生物によって構成された散乱層であると結論した。しかし、Johnson (1948) は散乱層と動物プランクトンの鉛直移動の相関性は二次的なものであり、実際の散乱体は動物プランクトンを餌料とし、共に移動する、より大型の生物からの散乱を想定した。

これ以後、1960年代中期に至るまで日周鉛直移動する散乱層が、さまざまな海域で確認され、層を構成する生物の議論が続いた。Moore (1950), Boden (1950), Brahan (1957) らは、動物プランクトン（大型甲殻類）および気泡を内包する管クラゲの仲間が散乱主体因子であるとした。一方、Marshall (1951), Cushing and Richardson (1955), Cushing (1957), Harsey and Backus (1962) ら多くの研究者は主体散乱因子は鱗を有する中深層性魚類であるとした。

これらの研究は低周波数（30kHz以下）を用いており、これらの結果を基にBary (1966) はカナダ British Columbia のSanich Inletにおいて12kHzの魚探を用い散乱層とその層に存在する動物プランクトンの湿重量および個体数との関連を調査した。この結果、オキアミ (euphausiids)、端脚類 (amphipoda) およびその他生物の単位空間体積当りの個体数および湿重量の鉛直分布と12kHz魚探で得た記録

紙上の散乱層の濃淡分布は関連がないことを示し、2cm 程度以下の動物プランクトンは12kHz では記録される様な十分な散乱強度はないとし、主体散乱因子は鯉を有する中深層性魚類であることを支持した。

我が国における散乱層の研究は漁業に関連した漁場環境、餌料生物としての観点からのものが多い。斎藤・三島(1953)は漁場における操業位置の選定においてプランクトンの存在は重要な要素であるとし、北海道恵山岬沖のスルメイカ漁場において14.5kHzの魚探によって散乱層を計測し、報告している。この時、同時にプランクトンネットにより鉛直曳き採集が実施され、主な散乱因子はオキアミ(*Euphausia pacifica*)であると判断した。散乱層とその構成因子である生物との関連を詳細に検討したのは柴田(1963)である。柴田(1963)はマグロ類の餌料環境として散乱層の分布、移動を考え、13.5kHzの魚群探知機を用いて計測を行うと共に生物採集を6フィートのIKMT(Isaacs-Kidd mid-water trawl net)により実施した。解析の結果、散乱層を構成する生物は微小プランクトンのみではなくエビ類、オキアミ類、ハダカイワシ類、クラゲ類等のメガロプランクトンが混在しているものであろうと推定した。これまで低周波数が散乱層の研究に使用されてきた理由は、ひとつに高周波数を取り扱う技術的な問題があった。また、散乱体からの散乱は気泡の共振現象が主なるもので、中深層性魚類の鱗に注目し低周波数が有効であると考えられていた。

第2段階は、1970年代後期までの散乱因子の音響特性を含めた高周波数利用期であり、間庭(1962)は、1952年から高周波数魚探の開発研究を進め、日本近海域での実験により200kHzの方が50kHzより明瞭に散乱層を記録することを見いだした。間庭の研究は高周波数を魚探に利用するための先見的、先駆的なものであり、駿河湾サクラエビ漁場における200kHzおよび24kHzでの散乱層計測では200kHzの方が散乱層の記録は明瞭で分解能が良いことを報告した。鈴木(1963)は北海道襟裳岬近海において28kHzおよび200kHz魚探を用いて散乱層の観測およびネット採集を実施した。散乱層の散乱因子は動物プランクトンで、その主体はオキアミ(*Euphausia pacifica*)であり、散乱特性は200kHzのほうが良いことを示した。さらに、鈴木(1967)は太平洋北西部水域において28kHzおよび200kHz魚探により散乱層の鉛直移動および構成生物を調査した。散乱層は昼間は200~300mにあり、夜間50m以浅に上昇する散乱層を観測し、昼間に200kHz魚探のみに現われる浅い層も観測した。

両周波数に現われた生物はオキアミ類で、200kHzのみに現われた生物はコペポダ (*Calanus plumchrus*, *Calanus cristatus*) であった。また、Barraclough and LeBrasseur (1969) は200kHz魚探によって北太平洋域で昼間 100mより浅いところに濃密度な shallow scattering layer (SSL) を観測した。これらの層は20~40mに位置し、ネット採集により散乱因子のほとんどが大型コペポダ (*Calanus cristatus*) であると報告した。この報告の中で彼らは、これまで動物プランクトンの分布は濃密度ではなく、空間的に一様でもなかったことが商業的に利用されなかった理由であるが、200kHzで濃密度なSSLが探知されたことにより商業利用の可能性の再評価をするに足る結果であるとした。この様に、オキアミ、サクラエビ等の大型甲殻類が散乱層の散乱因子となることがわかり、高周波数魚探の有効性が示された。

Beamish (1971) は動物プランクトンからの散乱を量的に計測するため、動物プランクトンからの物理的な散乱様式、さらにこれからの研究に必要な理論構築を目的として、Anderson (1950) の水中における微小流体球 (fluid sphere) の散乱モデルを検討し、102kHzにおいてオキアミ (*Euphausia pacifica*) の計測と解析を行い、オキアミからの散乱は流体球に近似した値と矛盾しないことを見いだした。

Johnson (1977a) はAnderson (1950) の水中における微小流体球 (fluid sphere) モデルから一次近似モデルを求め、動物プランクトンの散乱モデルとして提案した。また、気泡の共振モデルに関しても一次近似モデルを検討した。散乱層の散乱因子のひとつである鱈を有する中深層性魚類を含む魚類の散乱に関しては共振現象を考えたモデルにより理論的検討が進められた (Weston 1967, Andreeva 1974, Johnson 1977a, Love 1978, etc.)。

Greenlaw (1977) は実験水槽においてオキアミ類およびエビ類個体の超音波の散乱を63.7kHz ~ 1100kHzの間で計測し、これらの散乱様式はJohnson (1977a) が示したモデルによる推定と良く合うことを報告した。また、Greenlaw (1979) は、多周波数による散乱因子のサイズ組成推定手法を検討し、3周波数 (79, 103, 169kHz) での測定結果から昼夜の深度別サイズ組成を推定した。

この様に、1970年代後期までは音響技術の更なる発展により高周波数魚探の使用が一般的になりオキアミおよびさらに小型の生物が散乱層の重要な構成因子であることが注目される様になった。また、気泡を内在しない動物プランクトンの散乱様

式が非共振散乱として扱われ、Johnson モデル (1977a) を基にして議論され始めた。これに伴い動物プランクトンの散乱過程に対する生物体内の物理諸量が計測、検討され始めた (Beamish 1971, Greenlaw 1979, 1982)。

以上の様に広域周波数帯域での魚探の利用が可能となり、また海洋における散乱層のほとんどが生物起源であることもわかってきた。

第3段階は現在にいたる多周波数利用期であり、周波数特性、散乱様式に注目した研究である。研究の進展の中で生物の超音波散乱様式はふたつに大別され、第1は体内に気泡を内在する生物、すなわち鱉を有する魚類および管クラゲの仲間での気泡の大きさに由来した共振散乱である。第2は、動物プランクトン等の小型生物および鱉を有さない魚類で非共振散乱である。しかし、Holliday and Pieper (1980) は微小なプランクトンを計測するため 500~3000kHzの間の4周波数を用い海洋現場において計測を行った結果、散乱過程の中で区分される幾何学的 (geometric) 散乱域での結果は、Johnson (1977a) のモデルの様な単調 (非共振) モデルでは説明がつかないことを報告した。Kristensen and Dalen (1986) は Holliday and Pieper (1980) の結果を引用し、また自らの計測結果から動物プランクトンの散乱においても共振現象が考えられ、共振モデルを構築し検討を行った。さらに、現場計測において得られた音響データを基にモデルによる解析を行い、同時に得たネット採集によるサイズ組成と比較した。この結果から、体共振モデル (body resonance model) が妥当であることを示した。以上、散乱層に関する研究はこの約半世紀の間で目ざましい発展をしてきた。

物理的、化学的な海洋構造も含めた散乱層の分布、移動に関する研究も、内外の研究者によって数多く行われてきた。特に我が国では、散乱層が水産有用魚類の漁場形成にとって重要な要素と考え、水温・塩分等と関連させた研究および空中、水中照度と関連させた研究が行われてきた。散乱層の構成生物に関しては、多くの研究者により様々な海域においてネット等による採集と共に調査が進められてきた。また、計測機としての魚探は音響技術、電子技術の発達に伴い広域周波数帯での散乱層の計測が可能となり、さらに散乱層からの散乱の程度を示す体積後方散乱強度 (volume back scattering strength) が精度良く計測できる様になった。

このような研究の発展、これに伴う電気、音響技術の進歩により、現在では散乱層を構成する生物の現存量および構成生物の種およびサイズ組成を多周波数による音

響データから解析し、議論が進められる様になった。散乱層を構成する生物の種別、サイズ別の散乱強度は小型の動物プランクトンであるコペポダから鯉を有する大型の魚まで実験水槽で計測され、理論的解析も進められている。しかし、海洋現場における生物の現存量およびサイズ等の音響による推定に関する研究は始まったばかりであり、多くの取り組むべき課題が残されている。

従来、動物プランクトン、マイクロネクトンの現存量や水平および鉛直的な分布は様々なプランクトンネットによる採集結果で議論されており、音響計測を意識した採集は特殊なものであった。従って、音響データ解析に使用できる既存の生物データが極めて少ないことである。このことは、生物学、生態学等の生物サイドと水産音響学の計測機を中心とした計測サイドの境界領域であると言う問題が含まれている。すなわち、音響データおよび採集生物を共に有効に活用する音響計測手法および生物採集手法がないことにある。

ただし、1980年代前半から開始された生物学、水産音響学等を包括した南極域のオキアミ (*Euphausia superba*) 散乱層計測を含む B I O M A S S 計画は成果を上げている (Nemoto and Matsuda, Editors 1983, 等)。稲垣 (1986) もこの計画の一貫として実施された調査に参加した。また、近年の動向としては、国際的な研究計画である GLOBEC (Global Ocean Ecosystems Dynamics) において物理 (海洋環境) と生物の相互作用の解明を行うためには音響によるプランクトンの計測手法の開発が重要な課題であるとして取り上げられている。

1. 3 本研究の目的

海洋において計測される散乱層の構成因子はほとんどが動物プランクトンおよびマイクロネクトン等の生物であることが明らかになっている (Urick 1978)。これら生物の多くは日周鉛直移動しており、特に夜間になると表層域、浅層域へ上昇しネクトンの餌料生物としての重要なエネルギー源となっており、沿岸域における水産有用生物であるアジ、サバ、イワシ等の漁場形成、外洋域においてはマグロ、カツオ等の漁場形成に大きな役割を果たしていることになる。この様な、動物プランクトン、マイクロネクトンの現存量を広域にかつ短期間で計測する手法の開発は経済水域 200海里時代の資源管理にとっては重要なことであり、早急に行わなければ

ならない。また、海洋生態系の一部として捉えた場合にもエネルギーの鉛直方向への運搬生物として非常に重要である。しかし、現状ではこれら生物の分布および現存量はプランクトンネット等による採集に頼るしかなかった。音響によるリモートセンシング技術によりこれら生物の分布および現存量の計測が可能になれば、広域かつ短期間での生物学的な漁場環境を調査可能となり、資源管理に役立つと考える。

本研究は水産音響学的な観点から外洋域における散乱層の分布および周波数特性を多周波数による計測から明らかにし、これらを構成する動物プランクトン、マイクロネクトンの現存量およびサイズ分布の推定手法の開発を散乱モデル導入によって行うことが主目的である。また、この目的を達成するためには精度良い音響データの取得が必要不可欠であるため、音響データの現場環境に対応した補正の必要性を論じることにも目的の一つである。

1. 4 本論文の構成

本論文の構成は6つの部分からなる。

第1部は、音響リモートセンシング手法を用いた動物プランクトン、マイクロネクトンの移動、分布および量的把握の研究を進めるに当り、これまでの研究史の総述(第1章)と本研究に必要な音響理論の記述である(2章)。

第2部は、本研究に使用したデータの出典を明らかにし(第3章)、本研究に使用した音響機器の性能、精度および音響データを扱う上での処理、さらには重要なデータ補正のまとめである(4章)。

第3部は、第5章の1章で構成され、本研究の主要対象である散乱層に関して、散乱層の概要を整理し、4周波数の同時計測から得られた世界主要海域での散乱層の分布、移動、周波数特性を整理した。さらに、2周波数および4周波数の計測結果と海洋物理環境(水温、塩分)との関連を整理した。

第4部は、散乱層計測から得られた4周波数での体積散乱強度と並行して採集した動物プランクトン、マイクロネクトンとの関係を整理し、これらの結果を用い散乱モデルの導入を検討する。さらに、検討したモデルにより4周波数の体積散乱強度から生物量および生物サイズの推定手法を考察し、手法の妥当性を述べる(6章、7章、8章)。

第5部は、第9章の1章からなり、第8章で確立した生物の支配的サイズ推定手法および生物量推定手法を用い第5章で示した世界主要海域の生物の支配的サイズおよび生物量を推定した。

第6部は、本研究の総合論議として動物プランクトン、マイクロネクトンの量およびサイズ推定への音響リモートセンシング手法の導入の可能性および問題点を記した(10章)。

1. 5 主な使用した記号

ATT	: アンブ減衰量 [dB]
a	: 生物の等価半径 [m]
B	: 生物の内的音響特性値 [dB]
BIO	: 対数生物量 [dB]
b(θ)	: 送受波器の指向性関数
C _i	: 理論的体積散乱強度補正值 [dB]
C _i '	: 均一サイズでの体積散乱強度補正值 [dB]
C _{ra}	: 体積散乱強度補正值 [dB]
CSV	: 補正体積散乱強度(計算対数生物量) [dB]
c	: 音速 [m/s]
D	: 水深 [m]
DSV	: 実測と計算体積散乱強度の差 [dB]
d _r	: 生物個体の指向性減衰定数
d _V	: 微小体積
EG	: アンブゲイン [dB]
f	: 周波数 [Hz]
f _a	: 共振周波数 [Hz]
g	: 生物と媒質(海水)の密度比
h	: 生物体内と媒質内の音速比
I	: 音の強さ [W/m ²]
k	: 波数

ME	: 受波感度 [dB]
N	: 単位空間体積当りの生物個体数 [m^{-2}]
P	: 音圧 [μPa]
R	: 距離 [m]
r	: 相関係数
S	: 塩分
SE	: 送波感度 [dB]
SL	: 送波レベル [dB]
SV	: 体積散乱強度 [dB]
sv	: 体積散乱係数
T	: 水温 [$^{\circ}C$]
TS	: ターゲットストレンジス [dB]
t	: 時間 [sec.]
ts	: 単体散乱係数
V	: 単位空間体積当りの生物沈澱量 [m^3/m^3]
v	: 生物単体の体積 [m^3]
α	: 吸収減衰係数 [dB/m]
α'	: 吸収減衰係数 [dB/km]
γ	: 鰯内の気体の比熱比
δ	: ダンピング定数
θ	: 平面角 [rad]
λ	: 波長 [m]
μ	: 生物体組織のせん断弾性係数の実部 [dyn/cm ²]
π	: 円周率
ρ	: 密度 [kg/m ³]
σ	: 音響散乱断面積 [m^2]
τ	: パルス幅 [m]
ϕ	: 生物の定位角度
Ω	: 立体角 [sr]
Ψ	: 等価指向性係数

第2章 関連する主な水中音響理論および用語

2. 1 緒言

本章では、魚探から得られる距離および散乱波の強弱情報を基に散乱層構成生物の量推定を行うための水産音響理論および用語を整理した。

現在の水産音響学における一般的な水産音響理論は水中音響学における詳細な理論を展開したものではなく理想化された状態に限定し論じられているものである。本研究も以下の仮定に基づいた水産音響理論の展開となっている (Urick 1978、Sasakura et al. 1982、等)。

- ① 超音波の伝播経路は直線である。
- ② 任意の瞬間における散乱因子はランダムでかつ均等に分布する。
- ③ パルス幅は短い。
- ④ 散乱層内での音波の減衰は無視する。
- ⑤ 多重散乱は起こらない。

2. 2 ターゲットストレングス

生物等の散乱因子の形状、大きさおよび物理的諸性質等の情報を含む散乱波の強弱を表示する音響特性値としてターゲットストレングス (target strength) がある。ターゲットストレングスは次の様に定義されている。散乱因子から単位距離 (1m) 離れた所に基準点をおき、この点へ入射した平面波の音の強さ (sound intensity) と散乱因子からの散乱波の音の強さとの比を単体散乱係数 t_s と言ひ、これの常用対数変換値を10倍した値をもってターゲットストレングスとし、TSと表記される。すなわち、散乱因子への入射波の音の強さを I_1 [W/m^2] とし、散乱波の音の強さを I_2 [W/m^2] とすると、

$$t_s = (I_2 / I_1) \quad (2-1)$$

$$TS = 10 \log t_s = 10 \log (I_2 / I_1) \quad (2-2)$$

であり、TSの単位は[dB]（デシベル）である。

ここで、音の強さIと音圧（sound pressure）P [μPa]の関係は式（2-3）である。

$$I = \{ P^2 / (\rho_0 \cdot c_0) \} \cdot 10^{-6} \quad (2-3)$$

ただし、 ρ_0 は超音波を伝播する媒質である海水もしくは淡水の密度で単位は [kg/m³] である。また、 c_0 は媒質中の音速で単位は [m/s] である。

従って、式（2-3）を式（2-2）に代入し、以下の式により音圧の2乗の比として定義することができる。

$$TS = 10 \log (P_2^2 / P_1^2) \quad (2-4)$$

次に、散乱因子の形状、大きさおよび物理的諸性質による音響特性値であるターゲットストレングスTSは後方散乱断面積 σ により次の様に定義される。

$$TS = 10 \log (\sigma / 4\pi) \quad (2-5)$$

σ は散乱因子の大きさと周波数との関係で2つに大別され、第1は幾何学的散乱断面積であり、第2は音響的散乱断面積である。散乱因子の形状を球と考え、半径を a とすると、幾何学的散乱断面積は πa^2 である。以降、 σ は音響的散乱断面積を示す。音響的散乱断面積のパラメータとして波数 k があり、計測に用いる周波数を f 、媒質内での音速を c とした時の波数 k は次の様に定義される。

$$k = 2\pi \cdot f / c = 2\pi / \lambda \quad (2-6)$$

ここで、 λ は波長である。

2. 3 単体散乱因子のソナー方程式

ソナー方程式は超音波を伝播する媒質、散乱因子および音響装置（魚探）の各特性を集約してデシベル単位で表わした量であるソナーパラメータ相互の関係を表わす方程式である。以下、単体散乱因子のターゲットストレングスを求めるためのソナーパラメータについて記す。

魚探に使用される送受波器は、一般に指向性がある。送受波器が円形であれば音軸に対し回転対称なパターンとなる。回転対称の指向性を有する送受波器において、音軸および送受波器中心から散乱因子までの線分（距離 R ）を含む平面における、2直線のなす平面角を θ [rad]とする。この時、単位距離における送受波器の感度と音軸上の感度との相対感度として平面角 θ の関数として $b(\theta)$ と表わす。 $b(\theta)$ は指向性係数と称し、送受波器の大きさ、周波数および送受波器内の振動子の配列によってパターンは決まる。

次に、超音波を伝播する媒質中でのエネルギーの減衰を考える。送受波器からの送波が点音源とすると球面波として距離の2乗に比例して球面拡散が生じる。また、散乱因子からの散乱波も同様にして扱う。この現象による減衰を拡散減衰と言う。さらに、媒質により波動のエネルギーが波動以外のエネルギーに転換されたものを吸収と言い、この現象を吸収減衰と言う。

ここで、図2-1に示すごとく送受波器からの送波される音の強さを I_a 、受波される音の強さを I_s とし、散乱因子へ入射する音の強さを I_i 、散乱波の音の強さを I_e とすると I_i および I_e は以下の様に示すことができる。

$$I_i = I_a \cdot b(\theta) / (R^2 \cdot 10^{0.1 \cdot R}) \quad (2-7)$$

$$I_e = I_s \cdot b(\theta) / (R^2 \cdot 10^{0.1 \cdot R}) \quad (2-8)$$

また、デシベル単位に変換すると、以下の式で示すことができる。

$$10 \log I_i = 10 \log I_a - (10 \log R^2 + \alpha \cdot R) + 10 \log b(\theta) \quad (2-9)$$

$$10 \log I_{\Sigma} = 10 \log I_{\Sigma} = (10 \log R^2 + \alpha \cdot R) + 10 \log b(\theta) \quad (2-10)$$

ただし、 α は単位距離当りの吸収減衰量で、単位は [dB/m] である。
式 (2-9)、式 (2-10) および式 (2-2) より、式 (2-11) となる。

$$T S = 10 \log I_{\Sigma} - 10 \log I_{\Sigma} + 40 \log R + 2\alpha \cdot R - 20 \log b(\theta) \quad (2-11)$$

また、音の強さ I_{Σ} および I_{Σ} の時の音圧をそれぞれ P_{Σ} および P_{Σ} とすると式 (2-3) から、式 (2-12) となる。

$$T S = 20 \log P_{\Sigma} - 20 \log P_{\Sigma} + 40 \log R + 2\alpha \cdot R - 20 \log b(\theta) \quad (2-12)$$

式 (2-11) および式 (2-12) がそれぞれ音の強さおよび音圧をパラメータとした場合の単体散乱因子のターゲットストレングスを求めるソナー方程式である。

2. 4 体積散乱強度とソナー方程式

前節までは、単体の散乱因子の音響特性値であるターゲットストレングスを求めるための理論を記した。本節では、散乱層の研究を進める上で必要な多体散乱因子の音響特性値を求めるための理論を記す。多体散乱因子の音響特性値を体積後方散乱強度 (volume back scattering strength) と称し、略号で S_V と記す。

S_V は、散乱因子から単位距離の所に基準点を取り、この点に入射する平面波の音の強さ I_1 に対して単位体積で散乱された音の強さ I_2' の比を体積散乱係数 s_v と言ひ、常用対数変換し 10 倍した値として定義される。

$$s_v = I_2' / I_1 \quad (2-13)$$

$$S V = 10 \log s v = 10 \log (I_2' / I_1) \quad (2-14)$$

ここで、 $S V$ の単位は [dB] である。

多体散乱因子からの散乱波を取り扱うための概念図を図2-2に示す。理論を展開する上での仮定に基づき散乱因子は広い範囲にランダムに分布しているとする。

送受波器から送波されるパルスの幅を τ とし、音速を c とすると、ある瞬間に送受波器に受波される合成波は、距離方向 $c \cdot \tau / 2$ の厚みの中に存在する散乱因子からのものとなる。この厚みを、微小な厚み $d R$ とすると式(2-15)となる。

$$d R = c \cdot \tau / 2 \quad (2-15)$$

次に、送受波器からの超音波ビームの微小立体角 $d \Omega$ を考え、平面角 θ 、距離 R における微小立体角 $d \Omega$ と $d R$ で囲まれた微小体積を $d V$ とすると式(2-16)となる。

$$d V = R^2 \cdot d \Omega \cdot c \cdot \tau / 2 \quad (2-16)$$

ここで、送受波器から出力される音の強さを I_0 とすると、 $d V$ に入射する音の強さ I_1 は、拡散減衰、吸収減衰を考慮に入れ、単体散乱因子の場合と同様に示すことができる。

$$I_1 = I_0 \cdot b(\theta) / (R^2 \cdot 10^{0.1 \beta}) \quad (2-17)$$

$d V$ から散乱する音の強さ I_2 は、

$$I_2 = I_2' \cdot d V \quad (2-18)$$

であり、式(2-13)から、

$$I_2 = I_1 \cdot s v \cdot d V \quad (2-19)$$

となる。従って、 dV による散乱波の送受波器近傍の $d\Omega$ 当りの音の強さ $I_{\theta} \cdot d\Omega$ は拡散および吸収減衰を考慮して式(2-20)となる。

$$I_{\theta} \cdot d\Omega = I_0 \cdot s \cdot v \cdot dV \cdot b^2(\theta) / (R^2 \cdot 10^{0.1K}) \quad (2-20)$$

次に、式(2-20)に式(2-16)および式(2-17)を代入して式(2-21)が得られる。

$$I_{\theta} \cdot d\Omega = \{ I_0 / (R^2 \cdot 10^{0.2K}) \} \cdot \{ (c \cdot \tau) / 2 \} \cdot s \cdot v \cdot b^2(\theta) \cdot d\Omega \quad (2-21)$$

全立体角からの音の強さ I_{θ} は積分によってあたえられ、 $s \cdot v$ は仮定より、いかなる微小部分においても同値であるから定数として扱え、式(2-22)となる。

$$I_{\theta} = \{ I_0 / (R^2 \cdot 10^{0.2K}) \} \cdot \{ (c \cdot \tau) / 2 \} \cdot s \cdot v \cdot b^2(\theta) \cdot d\Omega \quad (2-22)$$

右辺の $b^2(\theta) \cdot d\Omega$ は送受波器の大きさおよび内部の振動子等の配列によって決まりこれを Ψ とすると、式(2-23)として、 θ を関数とした積分によって求めることができる。

$$\Psi = b^2(\theta) \cdot d\Omega = 2\pi \cdot b^2(\theta) \cdot \cos(\theta) \cdot d\theta \quad (2-23)$$

Ψ は送受合成のビームパターン係数と言う。尚、この Ψ は等価指向性係数(ideal beam pattern coefficient)とも呼ばれている(Urick 1978)。

式(2-22)、式(2-23)および $S \cdot V$ と $s \cdot v$ の関係、さらに音の強さ I_0 および I_{θ} を音圧におきかえ、それぞれ P_0 および P_{θ} としデシベル単位で書き直す

と、式(2-24)となり、この式を多体散乱因子の体積散乱強度を求めるためのソナー方程式という。

$$S V = 20 \log P_{\infty} - 20 \log P_a + 20 \log R + 2 \alpha \cdot R - 10 \log \left(\frac{c \cdot \tau}{2} \right) - 10 \log \Psi \quad (2-24)$$

2.5 ターゲットストレンジスと体積散乱強度の関係

式(2-2)および式(2-14)のTSおよびSVの定義からターゲットストレンジスと体積散乱強度の関係は式(2-25)となる。

$$S V = T S + 10 \log \left(I_{z'} / I_z \right) \quad (2-25)$$

ここで、 $I_{z'}$ は単位体積当りの散乱波の音の強さであり、単位体積内にN個の散乱因子が存在する時、仮定から多重散乱が起らないとすると、N個から散乱した音の強さの合成となる。すなわち、

$$I_{z'} = \sum I_{z,i} \quad (i=1, 2, \dots, N) \quad (2-26)$$

であるから、

$$s v = \sum I_{z,i} / I_r \quad (2-27)$$

となる。ここで、

$$t s_i = I_{z,i} / I_r \quad (2-28)$$

であるから、

$$s v = \sum t s_i \quad (2-29)$$

となる。散乱因子が均一な場合は、単体散乱係数は $t s = t s_1$ となるから、式 (2-30) および式 (2-31) となる。

$$s v = N \cdot t s \quad (2-30)$$

$$S V = T S + 10 \log N \quad (2-31)$$

また、散乱因子がすべて異なる $t s_1$ のときの平均値を $t s$ とし、

$$T S = 10 \log t s \quad (2-32)$$

とすると、 $T S$ を平均ターゲットストレンジスと言い、式 (2-33) が成立する。

$$S V = T S + 10 \log N \quad (2-33)$$

さらに、 q_j 個の散乱因子が $t s_j$ である時、式 (2-34) と表記できる。

$$s v = \sum q_j \cdot t s_j \quad (2-34)$$

ただし、 $\sum q_j = N$ である。

2. 6 平均体積散乱強度

水産音響学では、時間的、空間的な微細な体積散乱強度の変化を論じる様な特別の場合を除いては、平均化された平均体積散乱強度 $S V$ を用いる。 $S V$ は、一回のパルス発射により任意の深度区間から得られる L 個の $s v$ および任意のパルス数 M から式 (2-35) の様に定義される。

$$S V = 10 \log \{ (\sum \sum s v_m) / (L \cdot M) \} \quad (2-35)$$

ここで、 $j = 1, 2, 3, \dots, L$ および $m = 1, 2, 3, \dots, M$ である。

2. 7 吸収減衰

式(2-24)のソナー方程式に含まれる吸収減衰項 $2\alpha R$ 中の α は単位距離当りの吸収減衰量であるが、この値は海洋物理環境(水温、塩分等)により変化するため事前に値を決定することはできず、特に、広範囲に渡る計測においては考慮しなければならない値である。海水による超音波の吸収に関する研究は多くの研究者によって行われ(Urick 1978)、近年ではFrancois and Garrison(1982)が、世界の主要海域における計測を基礎とした吸収減衰を扱い、ほう酸、硫化マグネシウムの影響および純水の影響をまとめた式として報告した。

本研究ではFrancois and Garrison(1982)の式を用いる。本式は、ほう酸関連項、硫化マグネシウム関連項および純水関連項の3項から成り立っている。第1項のほう酸関連項は他の項に比して影響度は無視できるため本研究では第1項を削除したが、第2および第3項のパラメータは水温、塩分および水深で決まるため、本研究では、これらパラメータはCTD観測によって決定した。第2および第3項のみの式を式(2-36)に示す。尚、求まる吸収減衰量は、1km当りの量で、これを α' とする。

$$\alpha' = (A_2 \cdot p_2 \cdot q_2 \cdot f^2) / (f^2 + q_2) + A_3 \cdot p_3 \cdot f^2 \quad (2-36)$$

ここで、

$$A_2 = 21.44 S (1 + 0.025 T) / c \quad (2-37)$$

$$p_2 = 1 - 1.37 \cdot 10^{-4} D + 6.2 \cdot 10^{-9} D^2 \quad (2-38)$$

$$q_2 = 8.18 \cdot 10^{(8-1090-(273+T))} / \{1 + 0.0018 (S - 35)\} \quad (2-39)$$

$$p_3 = 1 - 3.83 \cdot 10^{-5} D + 4.9 \cdot 10^{-10} D \quad (2-40)$$

である。尚、 A_s は、水温によって式(2-41)または式(2-42)となる。
 $T \leq 20$ [°C] の時、

$$A_s = 4.937 \cdot 10^{-4} - 2.59 \cdot 10^{-5} T + 9.11 \cdot 10^{-7} T^2 - 1.50 \cdot 10^{-9} T^3 \quad (2-41)$$

$T > 20$ [°C] の時、

$$A_s = 3.964 \cdot 10^{-4} - 1.146 \cdot 10^{-5} T + 1.451 \cdot 10^{-7} T^2 - 6.5 \cdot 10^{-10} T^3 \quad (2-42)$$

各パラメータは、

f : 周波数 [kHz]、 c : 音速 [m/s]、 T : 水温 [°C]、 S : 塩分
および D : 水深 [m] である。音速は式(2-43)によって算出される。

$$c = 1412 + 3.21T + 1.19S + 0.0167D \quad (2-43)$$

2. 8 音速

式(2-24)のソナー方程式には音速をパラメータとした項が3つあり、探知分解能幅である $c \cdot \tau / 2$ および距離 R を含む伝播減衰項の $20 \log R$ 、 $2\alpha \cdot R$ である。計量型魚探は、与えた音速 c と音波の送受時間間隔 t から $R = c / 2t$ として距離を求めている。

水中音速は水温、塩分および深度により変化し、多くの実験式が作られている。本研究では式(2-43)を用いた。

第3章 資料

本章では、第4章以降で使用したデータの出典を明らかにするため3回の研究航海の概要および計測内容について整理する。

3.1 KH-89-2 (世界一周航海)

航海概要

◎航海目的

世界の主要な海洋の総合的研究

◎船舶

白鳳丸 (東京大学海洋研究所)

全長 100m

総トン数 3987ton

◎航海日程

期間 1989.10.27~1990.03.05 (130日)

本航海は以下に示す7つのLegにより構成された。

Leg 1	東京(1989.10.27)	---	サンディエゴ(11.17)
Leg 2	サンディエゴ(11.22)	---	マイアミ(12.09)
Leg 3	マイアミ(12.13)	---	リスボン(12.27)
Leg 4	リスボン(1990.01.02)	---	モナコ(01.06)
Leg 5	モナコ(01.11)	---	ゴア(01.27)
Leg 6	ゴア(01.31)	---	シンガポール(02.14)
Leg 7	シンガポール(02.19)	---	東京(03.05)

◎計測海域

太平洋、メキシコ湾、カリブ海、大西洋、地中海、インド洋(アラビア海、ベンガル湾)、南シナ海。図3-1(a)および(b)に航跡を示した。

音響計測

音響計測は、積分型計量魚探システム等から構成された生物資源音響探査装置(ABIS)を用いて実施した。ABISに関する詳細は第4章で述べる。

A B I S は 4 周波数での計測が可能であり、計測は航海中の全行程で実施した。しかし、太平洋の横断観測は荒天のため良好なデータは取得できなかった。計測深度レンジは基本的には 0m (送受波器位置は船底で水深 5m) ~ 200m とした。積分処理された平均体積散乱強度データは約 60 枚の 3.5 インチディスク (1 M バイト) に収録された。魚探記録紙は約 50 本であり、D A T は約 50 本である。尚、次に記す生物採集中の A B I S の積分設定は、水平積分として 30 回の発信モードとし、積分層の幅は 10m とした。積分設定層は、20 層とした。5~10m を第 0 層とし、10m 以深は 10m 間隔で第 1 層が 10~20m、第 2 層が 20~30m であり、以下 30~40、40~50、50~60、60~70、70~80、80~90、90~100、100~110、110~120、120~130、130~140、140~150、150~160、160~170、170~180m とし、第 19 層が 190~200m である。

生物採集

本研究のための生物採集は、O R I ネットによる水平曳が実施された。曳網は 19 測点で計 49 回実施された。サンプルは約 10% の海中中性ホルマリンで固定し、保存した。ネットによる生物採集点は、図 3-1 に黒丸で示す。また、表 3-1 (a) および (b) には、生物採集の測点名、サンプル名、時刻、位置および水平曳網時のワイヤー長を示す。生物採集時の船速は 2 knot である。尚、表 3-1 のサンプル名の後に付した大文字の D および N はそれぞれ昼間 (D a y) および夜間 (N i g h t) の曳網を示し、その次の小文字 d および s は同一測点での曳網で深い方 (d e e p) の採集および浅い方 (s h a l l o w) の採集を示す。ネット曳網層はネットに設置した深度計の値をパーソナルコンピュータで読み取り、確認した。

海洋環境計測

海洋環境計測は C T D により 18 測点で実施された。計測深度は 1000m までである。この内 0~200m までの 1m 間隔のデータを作成し 5 インチディスクに収録した。尚、C T D 観測が行われた測点は、図 3-1 に白丸で示す。

3. 2 K H - 9 1 - 4 (ウナギ第 5 次航海)

航海概要

◎航海目的

ウナギの回遊と外洋生態系の生物群集に関する研究

◎ 船舶

白鳳丸 (3. 1と同じ)

◎ 航海日程

期間 1990.06.14~1990.07.22 (39日)

本航海は以下に示した2つのLegにより構成される。

Leg 1 東京 (1990.06.14) --- 沖縄 (1990.07.06)

Leg 2 沖縄 (1990.07.12) --- 東京 (1990.07.22)

◎ 計測海域

西部太平洋温帯域/亜熱帯域。図3-2に航海海域を示す。

音響計測

A B I Sによる4周波数計測であり、計測は航海中の全行程で実施した。計測深度レンジは基本的には0m (送受波器位置は船底で水深5m) ~ 200mとした。積分設定層は4. 1と同様である。積分処理された平均体積散乱強度データは約30枚の3.5インチディスク (1 Mバイト) に収録された。魚探記録紙は約20本であり、D A Tは約20本である。

生物採集

生物採集は、I K P Tネット (目合 1mm: Isaacs-Kidd mid-water trawl net) の傾斜曳が実施され、42回の曳網サンプルが生物量計測に供された。サンプルは約10%の海水中性ホルマリンで固定し、保存した。ネットによる生物採集点は、図3-2に示したライン上の全域で実施した。これらの採集生物は沈澱量の経時変化を測定するために使用した。また、ニホンウナギ幼生の鉛直分布を調査するためにM T Dネットが実施され、本研究に使用した採集点を図3-2に黒丸で示す。

海洋環境計測

物理環境はC T Dにより54測点で実施された。計測深度は1000mまでである。この内0~200mまでの1m間隔のデータを作成し5インチディスクに収録した。尚、本研究に使用したC T D観測点を、図3-2中に白丸で示す。

3. 3 KH-87-4 (暖水塊航海)

航海概要

◎航海目的

三陸沖海域の暖水塊に関する研究

◎船舶

白鳳丸 (初代白鳳丸: 東京大学海洋研究所)

◎航海日程

期間 1987.09.01~1987.09.25 (25日)

本航海は以下に示す2つのLegにより構成される。

Leg 1 東京 (1987.09.01) --- 釧路 (1987.09.12)

Leg 2 釧路 (1987.09.16) --- 東京 (1987.09.25)

◎計測海域

太平洋東北沖海域。図3-3に本研究での資料を得たLeg. 2の航跡の一部を示す。

音響計測

積分型計量魚探FQ-50による2周波数 (200および50kHz) 計測である。FQ-50に関しては第4章で述べる。

計測は航海中の全行程で実施した。図3-3は、本研究の資料を得た海域であり、点線で囲った範囲は、航海期間中に得た衛星画像による暖水塊の位置を示している。3本の計測線が暖水塊の南端を横断した。

計測深度レンジは基本的には0m (送受波器位置は船底で水深5m) ~ 200mとし、積分層の設定は10層 (10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90, 90-100, 100-120m) とし、積分水平距離は0.2n.mileとした。

海洋環境計測

水温環境観測は、図3-3に黒丸で示したSt.35~St.54でCTD観測により得た。さらに、St.47~St.48の間では2n.mile間隔でXBTによる観測が行われた。

CTDの計測深度は1000mまでである。この内0~200mまでの1m間隔のデータを作成し5インチディスクに収録した。

第4章 魚群探知機システムおよび校正とデータ補正

本章では、本研究に用いた2機種の魚探システムの内、ABISに採用した周波数の選択経緯、ABISシステムの構成およびデータ処理について述べ、さらに、音響データを取り扱う上で重要なABISシステムの校正および様々なデータ補正について記す。

4.1 魚探システム

本研究では2種の魚探システムを用いた。

ABIS

システムの正式名称は「生物資源音響探査装置」(Acoustic Biomass Investigation System)で、3つの音響機器から構成されており魚探はそのひとつである。魚探は4周波数(200、120、50および38kHz)での同時計測が可能である積分型計量魚探システム(古野電気製)である。システムの構成、周波数選択等は製作者(古野電気)との協議により決定し、1989年5月に研究活動が開始された東京大学海洋研究所所属の白鳳丸に搭載された独自システムである。本研究においては、第3章で述べた3回の研究航海の内、KH-89-2次航海(3.1)およびKH-91-4次航海(3.2)の2航海で使用した。

FQ-50

本システムは、2周波数(200および50kHz)で同時計測が可能な積分型計量魚探システム(古野電気製)である(Sasakura *et al.*, 1982)。本システムは研究および調査用に市販されており、1988年12月まで研究活動を行っていた東京大学海洋研究所の初代白鳳丸に搭載され、本研究では、KH-87-4次航海(3.3)で使用した。

4.2 ABISの周波数の選択

周波数の選択は、いくつかの条件を考慮しなければならない。

まず前提として、生物学的な漁場環境把握を目的として、広域に分布する超音波散

乱層を構成する生物の量およびサイズ組成等を連続的にかつ、短時間で計測する必要があるので、送受波器は曳航式ではなく船底に装備されなければならない。

この前提を基に以下の条件が満たされる範囲で周波数を選択しなければならない。

- ①計測対象となる生物の音響特性を考慮する。
- ②海水中での音響特性、特に吸収減衰を考慮する。
- ③他の音響機器との周波数競合を考慮する。
- ④船自身および海洋からのアクティブノイズを考慮する。

①は重要な条件であり、Holliday and Pieper (1980) は非共振モデルによる動物プランクトンおよび共振モデルによる魚類のTSと周波数の関係から小型の動物プランクトンを計測するには高周波数が有利であることを示し、様々なサイズの生物を計測対象とする場合の周波数は低周波数から高周波数(MHz帯域)まで選択できることが理想である。

②は式(2-36)によると水温 20°C 、塩分35、および水深10mとしたこの深度における200m当り(距離100mの往復を想定)の吸収減衰と周波数の関係(図4-1)より高周波数帯域は減衰が大きくMHz帯では計測可能距離が極端に短くなってしまふことがわかる。

③の周波数の競合については、海底の地質、地形の調査研究では低周波数帯域(30kHz程度以下)を使用しており、海洋調査時の競合が充分考えられる。

④の船舶の自己ノイズ等のアクティブノイズに関しては、低周波数ほどレベルが大きい(Urick 1978)ことがわかっている。

以上の前提および条件から選択可能な周波数帯域は30kHz程度から500kHz程度までが妥当な範囲であると考えられる。このことは、Holliday and Pieper(1980)も検討を行い50~500kHzが適正な周波数範囲であると指摘した。

次に、水産音響研究の分野において使用されている魚探の周波数を考える。現在、魚探に良く使用されている30~500kHzの周波数帯域での周波数は38、50、70、88、120および200kHzである。この内、50および200kHzはわが国において使用されており、本研究に使用されたもう1機種FQ-50でも使用されている。欧米諸国で使用されている周波数は38および120kHzが多い。

以上の様な理由および周波数の利用状況から、30から500kHzの周波数帯域で、他船での研究結果との比較、多くの研究者による結果との比較が可能な周波数であり、

広い周波数帯域を考え、38、50、120および200kHzの4周波数をABISシステムに採用した。

4. 3 計量魚探システム・ABIS

4. 3. 1 システム構成

ABISは異なった3つの音響計測部とデータ収録部から構成されている。3つの音響計測部とは、本研究に使用した計量魚探部および魚群等の水平的な集群形状、集群数等を計測するサイドルッキングソナー部、スキミングソナー部である(古野電気1989a, b)。データ収録部はABISの制御も兼ねるコンピュータ部とソナー等の画像を収録する画像収録部に分かれる。以下に本研究で使用した計量魚探部の構成を中心に記す。

図4-2にABISの外観を示した。本システムは、研究船白鳳丸に常設されており、一部が陸上への搬出が可能となっている。図中、点線で囲んだ部分が計量魚探部およびデータ収録部であり、図4-3に示した様に発振部、受信部、表示部、演算部および送受波器に区分される。送受波器は、船底の中央および船首部分に設置した。演算部には、船からの情報として時刻、船位、船速、船首方位等がラインを通じて入力される。また、演算部はデータ収録部と連結し、キーボードからの各種パラメータを受け、これらの設定に基づいて演算処理した値を出力する。出力された値は、整理され、データ収録部のハードディスクに収納される。

4. 3. 2 データ処理

ABISは、式(2-12)および式(2-24)のソナー方程式によって求める、ターゲットストレンジスTSおよび体積散乱強度SVを積分処理をほどこした値として出力する。データ処理の流れについて概略を図4-4に示す。

①送受波器から散乱層へ音圧 P_0 の音波が発信され、②散乱層からの散乱波が送受波器にもどる。③もどった音圧 P は電圧 V_T に変換され、パラメータ入力によって決められた一定の増幅および距離補正(拡散減衰の補正)の増幅がほどこされた電

圧 V_{10} となる。この距離補正は体積散乱強度を得る場合には $20 \log R$ (距離) の増幅である。次に、④この電圧は一定間隔 (魚探計測深度レンジが 200m ならば 10cm 間隔) でデジタル変換され、演算回路に入る。⑤演算回路では、吸収減衰補正がほどこされ、体積散乱係数 s_v が計算される。ここまでの流れは、ソナー方程式に従った流れであり、次節の校正で記す諸パラメータの設定に基づいて演算される。

次に、演算された s_v は積分処理される。⑥積分処理は、式 (2-35) に従い、任意の深度区間から得られる L 個の s_v および任意の発振パルス数 M で処理される。

任意の深度区間は 20 区間 (層) が設定できる。ここで、任意の深度区間を積分層と言ひ、深度区間の距離を積分幅と言ひ。任意のパルス数は、2つのモードがあり、第1のモードはパルス数 M として設定する発信モード、第2のモードは航行距離として設定する距離モードである。航行距離は、船速から演算され、一定距離を航走する間の発振パルス数が M となる。ここで、発信モードでの積分を積分回数と言ひ、距離モードでは積分距離と言ひ。この様に、⑦積分処理された S_V は、船からの諸情報と共にデータ収録部へ転送され、⑧整理されてハードディスクに収納される。

尚、④でデジタル変換されたデータは⑨表示部のカラー画面に魚探像として出力される。また、⑩船からの諸情報と共にデータ収録部のデジタルデータレコーダ (DAT) に収録され、後日の再生解析に使用することができる。

⑤で演算された s_v および⑥で処理された積分情報は、⑪データ収録部へ転送され、電圧変換されて記録紙に記録される。従って、魚探計測で取得した音響情報はデータ処理後、4つの形態で保存される。

- (a) 積分処理された数値としての体積散乱強度 (またはターゲットストレングス)
----- ハードディスク。
- (b) 体積散乱強度に比例した濃淡表示の魚探像 ----- 乾式記録紙。
- (c) 距離補正がほどこされたカラー魚探像 ----- カラーハードコピー紙。
- (d) 距離補正がほどこされた再生解析用デジタルテープ (DAT)
----- デジタルデータレコーダ。

FQ-50 システムのデータ処理も ABIS と同様の流れであり、積分層は 10 層設定できる。データの保存形態は上記の (a)、(b) および (d) である。ただし、(b) は湿式記録紙であり、(d) はアナログデータレコーダである。

尚、(6)で積分処理され、(7)でハードディスクに収納されたSVは2.6で記した「平均体積散乱強度」である。

4. 4 ABISの校正および校正結果

4. 4. 1 校正方法

本研究は、魚探を用いたリモートセンシングによる生物量の計測を考えるものであるから、正確な、精度良い体積散乱強度を得るためのシステム校正は欠くことはできない。単一周波数での計測の場合は、システムに関わるパラメータが多少不正確であっても、相対的な誤差として取り扱うことが可能である。しかし、複数周波数を用いた計測の場合は周波数相互の関連が重要な情報となるため、校正は重要なことである。

散乱層からの体積散乱強度SVは第2章に記した式(2-24)のソナー方程式により以下の様な音響パラメータによって求められる。

P_0 : 送受波器からの出力音圧 [μPa]、 P : 送受波器への入力音圧 [μPa]、
 R : 散乱体までの距離 [m]、 α : 媒質(海水)の吸収係数のデシベル値 [dB/m]、
 Ψ : 送受波器の等価指向性係数 [sr]、 c : 媒質中の音速 [m/s]、 τ : 発振パルス幅 [m] である。

校正とは主に送受波器の電気-音響特性を知るために行うもので、送受波器の送受波感度を調べることにある。送受波感度は送受波器の設計段階で理論値は与えられているが、器差があり、またシステムの送受波回路から送受波器までのラインの長短により変化する。さらに、温度特性、経時特性が考えられる。

校正の方法は現在2つの方法が使用されている。第1は、標準ハイドロフォン(水中マイクロフォン)法であり、第2は標準反射球法である。標準ハイドロフォン法とは入出力感度があらかじめわかっているハイドロフォンを送受波器の音軸上に固定し、送受波器から出力される音波の音圧を計測し出力音圧を知る。次に、ハイドロフォンから一定音圧のパルスを出し、送受波器で受けた音圧と送受波器から出力される電圧との関係を示す受波感度を計測し、併せて電気回路系の増幅諸特性を計測する。また、標準反射球法は、あらかじめ周波数によるターゲットストレンダ

スがわかっている球体を送受波器の音軸上に吊し、戻ってきた音圧による出力電圧から計算される値と既知のターゲットストレングスとの一致度を計測する方法である。

2つの方法にはそれぞれ問題がある。標準反射球法は標準球のターゲットストレングスが正確に求められていても、船底に装備された送受波器の音軸上に固定、垂下することは船舶の動揺や人員配置等技術的な熟練を要する。また、標準ハイドロフォン法は、ハイドロフォンをダイバーの援助を得て、船底送受波器の音軸直下へ固定することは容易であるが、固定位置が送受波器に近くなり、近距離音場の影響を受け易くなる。ただし、船底への送受波器設置前の計測により近距離音場補正は可能である。従って、本研究では魚探システムの校正は船舶の動揺を無視でき、送受波器下の距離が短い(数m)係船岸壁でも充分実施できる標準ハイドロフォン法を用いた。

体積散乱強度を求める音響系でのソナー方程式は、式(2-24)に示した。

A B I S の電気-音響の関係を含んだ体積散乱強度 $S V$ [dB] を求めるソナー方程式は式(4-1)で与えられる。

$$S V = 20 \log V_{i n} - (S L + M E + E G - A T T + P S A I + 10 \log (c \cdot \tau / 2) - 2 \alpha \cdot R) \quad (4-1)$$

ここで、

$V_{i n}$: 演算部入力電圧 [V]

$V_{i n}$ は送受波器端入力電圧に体積散乱強度計測モードにより、 $20 \log R$ が補正される様に増幅された電圧である。

$S L$: 出力音圧 [dB] $S L = 20 \log P_0$

$M E$: 受波感度 [dB]

$E G$: アンブゲイン [dB]

$A T T$: アンブ減衰値 [dB]

$P S A I$: 等価指向性パターン係数 [dB] $P S A I = 10 \log W$

式(2-24)および式(4-1)より、式(4-2)が得られる。

$$20 \log P_0 = 20 \log V_{i n} - M E - E G + A T T \quad (4-2)$$

従って、送受波器への入力関係においては、EGおよびATTは電気系だけで計測される値であるからMEをハイドロフォン法で計測すれば良い。

次に、式(2-24)の右辺で未知な値は $P_0 (= SL)$ であるから、SLをハイドロフォン法によって求める。SLは電気-音響系では式(4-3)で示すことができる。

$$SL = SE + 20 \log(V_{i,c} / 2.828) + C_r \quad (4-3)$$

SE : 送受波器送波感度 [dB]

$V_{i,c}$: 送受波器端出力電圧 [V]

C_r : 遠距離-近距離音場補正值 [dB] である。

上記方法で校正され、得られたパラメータSL、ME、EGおよびPSAIが他の必要なパラメータと共に演算部へ登録されるが、積分前の値は、個体散乱係数または体積散乱係数(sv)として求められるため、演算時には逆対数変換される。

尚、ABISに固定されたパラメータであるPSAI(Ψ)および τ は、後述する表4-3(a)に記す。 α および c に関しては、後段のデータ補正で扱いを記す。

4. 4. 2 校正結果

ABISの校正はハイドロフォン法により1989年10月3日、1990年8月30日、および1991年4月17日に計3回、東京晴海埠頭の白鳳丸専用係船岸壁で実施した。

本研究では、船底中央部に設置した送受波器を使用し、4段階ある音響出力を最大に設定した使用である。この条件での中央部4周波数に対する送受波器の校正結果を表4-1に示す。

4. 5 データ補正について

データの補正は3つに分けられる。

①パラメータ補正

ソナー方程式に含まれるパラメータの設定値誤差および不確定値による補正であ

る。これには、校正による誤差および不確定な吸収減衰量補正、音速補正がある。

② 定常補正

ソナー方程式には含まれない、定常的に生じるノイズ補正がある。

③ 非定常補正

非定常的に生じる他の音響機器による干渉ノイズ補正および A B I S の計測エラーによる欠測補正。また、海況による船の動揺および船の走行による減衰補正がある。

以上の補正が信頼できる体積散乱強度を取得するために必要なものである。

4. 6 パラメータ補正

4. 6. 1 校正誤差補正

4. 4 の校正で記した様に、魚探システムの経時変化等でシステムに与る種々なパラメータは変動する。また、校正時の誤差もある。従って、研究航海の前後で校正を行い、パラメータに変化があった場合は経時的な校正誤差として補正しなければならない。校正誤差で考えるパラメータの補正は S L、M E および E G である。

尚、本研究に用いた A B I S は、演算処理過程において、周波数により積分処理された平均体積散乱強度に定常的な誤差が含まれていることが判明したため、システムの校正の範疇として扱い演算補正值として校正誤差に含んだ。表 4-2 に演算処理過程における演算補正值を示す。

表 4-3 (a) は、K H-89-2 次航海において使用した A B I S のパラメータ一覧表である。この内、システム校正により決まる値は、S L、M E および E G である。表 4-3 (a) に記したパラメータ値は第 1 回目 (1989.10.3) の校正において得た値であり、S L、M E および E G の値は本システムの 4 段階の音響出力モードにおいて校正した結果の平均値であるため表 4-1 の第 1 回目の値とは異なる。すなわち、当初の計測計画では音響出力の変更を想定したため、システムに入力する S L、M E および E G の値を 4 段階の音響出力の平均値とした。しかし、本研究では最大出力での計測に限定したため、最大出力での校正値を本研究に用いる値であると判断し、表 4-1 の結果をシステムの校正値として扱い、この表の平均

値を A B I S のパラメータ値とした。この結果を、表 4-3 (b) に示す。ただし、S L を決める出力電圧は、3 回の校正において変動が認められるため、KH-89-2 次航海の出力電圧は 1 回目と 2 回目の平均値とした。表 4-3 (c) は、表 4-2 に示した演算誤差も含め校正誤差として修正する値である。

次に、KH-91-4 次航海の補正は、ME および EG は表 4-3 (b) の値を用い、S L を決める出力電圧は、出港後に計測した電圧を用いたのでパラメータによる補正は 0 dB であり、校正誤差補正值は表 4-2 に示した演算誤差のみである。

4. 6. 2 吸収減衰補正および音速補正

式 (2-24) のソナー方程式に含まれる吸収減衰項 $2\alpha R$ に関する補正で、 α は単位距離当りの吸収減衰量であるが、この値は海洋物理環境 (水温、塩分等) により変化するため事前に値を決定することはできない。従って、予測値を魚探システムのパラメータとして与えることになる。特に高周波数での影響が大であり、広範囲な海域を計測対象とする時には補正が必要である。本研究では、式 (2-36) に示した Francois and Garrison (1982) の式を用いた。

また、式 (2-24) のソナー方程式には音速をパラメータとした項が 3 つあり、探知分解能幅である $c\tau/2$ および距離 R を含む伝播減衰項の $20\log R$ 、 $2\alpha R$ である。計量型魚探は、与えた音速 c と音波の送受時間間隔 t から $R = c/2t$ として距離を求めている。従って、音速に関する補正を考慮しなければならない。水中音速は水温、塩分および深度を変数とした実験式がある。本研究では Francois and Garrison (1982) が示した吸収減衰係数を求めるために導入した音速の式 (2-43) を用いた。

式 (2-24) の右辺第 3 項および第 4 項の距離 R は A B I S の演算部において、送信から受信までの時間 t および与えた音速 c から、以下の演算で求められる。

$$R = c \cdot t / 2 \quad (4-4)$$

従って、音速は第 3、4 および 5 項のに影響を与える。ここで、あらかじめ与えた音速および吸収減衰量をそれぞれ c_0 および α_0 とし、演算された距離を R_0 、こ

これらのパラメータから演算された体積散乱強度を SV_0 とする。また、真の音速 c および真の吸収減衰量 α の時の距離を R 、体積散乱強度を SV とし、体積散乱強度の補正値を SV_d とする。

$$SV_d = SV - SV_0 \quad (4-5)$$

従って、式 (2-24) から式 (4-5) は、式 (4-6) となる。

$$SV_d = 20 \log(R/R_0) + 2(\alpha \cdot R - \alpha_0 \cdot R_0) - 10 \log(c/c_0) \quad (4-6)$$

ここで、式 (4-4) より、式 (4-7) および式 (4-8) の関係が得られ、これらを式 (4-6) に代入すると、式 (4-9) となる。

$$R = c \cdot t / 2 \quad (4-7)$$

$$R_0 = c_0 \cdot t / 2 \quad (4-8)$$

$$SV_d = 10 \log(c/c_0) + 2R_0 \{ (c/c_0) \cdot \alpha - \alpha_0 \} \quad (4-9)$$

また、 R と R_0 との差を R_d とすると、式 (4-7) および式 (4-8) から、式 (4-10) となる。

$$R_d = R - R_0 = R_0 \{ (c/c_0) - 1 \} \quad (4-10)$$

従って、計測において設定値 c_0 および α_0 によって求めた距離 R_0 での体積散乱強度 SV_0 は、補正により、距離 R における体積散乱強度 SV となる。

$$R = R_0 (c/c_0) \quad (4-11)$$

$$S V = S V_0 + 10 \log (c / c_0) + 2 R_0 \{ (c / c_0) \cdot \alpha - \alpha_0 \} \quad (4-12)$$

ここで、ABISから出力される体積散乱強度は任意に設定できる積分層幅内の平均体積散乱強度であり、平均前の個々の体積散乱強度を補正対象値とすることはできないため、設定積分層から得た平均体積散乱強度を設定積分層の中央深度 R_0 の $S V_0$ として補正を行う。真の値である c および α は、計測点の水温、塩分および水深によって決まり、水深 R における c および α をCTDデータから以下の様に求めた。CTDによる計測データは1m間隔の水温、塩分である。ここで、式(2-43)より、水深 j [m] における水温、塩分から求めた音速を c_j [m/s] とし、式(2-36)から深度 j [m] における吸収減衰量を α'_j [dB/km] とする。深度 R [m] までの平均音速 c_R [m/s] は、式(4-13)で求め、この c_R を深度 R までの真の音速とした。

$$c_R = (\sum c_j) / (R-5) \quad (4-13)$$

ここで、 $j=6, 7, 8, \dots, R$ (送受波器は水深5m)

次に、深度 j [m] における吸収減衰量を α'_j [dB/km] とすると、深度 R [m] までの平均吸収減衰量 α'_R [dB/km] は式(4-14)となり、この α'_R より単位距離 [m] 当りの量 α_R として求め深度 R までの吸収減衰量とした。

$$\alpha'_R = (\sum \alpha'_j) / (R-5) \quad (4-14)$$

ここで、 $j=6, 7, 8, \dots, R$ であり、 α_R と α'_R の関係は式(4-15)である。

$$\alpha_R = \alpha'_R / 1000 \quad (4-15)$$

以上の方法により各測点において、水深 1m 間隔で求めた音速および吸収減衰量を用い、設定積分層の中央水深を代表値に取り、式(4-13)、式(4-14)および式(4-15)から c_R および a_R を求め、式(4-11)および式(4-12)から、音速および吸収減衰量の誤差による補正された各積分層の平均体積散乱強度を求める。補正を行うデータは、KH-89-2次航海およびKH-91-4次航海のABISによる計測データである。2回の航海での設定積分層は特にことわらない限り20層(第0層~第19層)である。第0層は船底(5m)を代表値としたが、第1層以降は積分層の中央深度が代表値である。

図4-5にKH-89-2次(世界一周)航海におけるCTD観測点での各周波数ごとの各深度(積分層)における音速補正、吸収減衰補正を総合した補正值を示す。尚、積分層の深度(積分層の中央深度)における深度補正值 R_z を図4-6に示す。

4. 7 定常補正

4. 7. 1 ノイズ補正

ノイズは大別して2系統からのものが考えられる。第1は、海洋を起源とするノイズおよび船舶の出すノイズが音響振動として送受波器に入るものである。第2は、電気回路系における電氣的ノイズである。これらのノイズは、魚探で計測される超音波散乱層からの音響信号および変換された電気信号と重なり出力される体積散乱強度の精度を悪化させる。

体積散乱強度は、式(2-14)に示すごとく、送受波器にもどる散乱波の音の強さの絶対値ではなく、出力された音の強さとの相対値として得られる値である。従って、S/N比(信号対ノイズ比)を大きくすれば良いから、音響系では、単純には出力音圧レベルを大きくすれば良い。しかし、波形の歪みおよびキ+ビテーションの発生が起こるため限度がある(Urick 1978)。電気回路系においては、様々な計測器との独立をはかり、シールドを強化すれば良いが、これにも限度がある。すなわち、ノイズはABISの持つ性能限界および周辺装置との関連として補正を重要視しなければならない。

定常的ノイズの計測は15knot航走時にA B I Sの音響出力発振を停止し、受信のみの動作でノイズレベルをS V値として計測する方法を取った。この方法は、A B I Sの周波数帯域での絶対ノイズレベル計測ではなく、散乱層からのS Vと比較し、散乱層情報とノイズを比較するものである。計測は、KH-89-2次航海において、大西洋、地中海および南シナ海で行った。A B I Sに与えた諸パラメータは、航海で用いた値と同じである。4周波数における水深に対するノイズのS V相当レベル(単位[dB])を図4-7に示す。積分層設定は通常計測時と同様で、水平方向の積分は発信モード30回とした。図中の4本の線はそれぞれ4周波数での3回の計測から得た平均ノイズレベルである。200、120および50kHzの深度によるレベルの変化は、ソナー方程式に含まれる、 $20\log R + 2\alpha R$ に比例した変化傾向であった。すなわち、定常的な一定レベルのノイズが存在したことを示している。しかし、38kHzは、傾きが異なり、低レベルではあるが、他の機器からの干渉ノイズの存在が考えられた。

散乱層計測において、ノイズが存在すると、計測される体積散乱強度は、信号(散乱層からの体積散乱強度)とノイズの体積散乱強度相当レベルとが総合された値となる。散乱層、ノイズおよび総合した値を、それぞれ $S V_s$ [dB]、 $S V_n$ [dB]および $S V_T$ [dB]とし、それぞれの体積散乱係数を $s v_T$ 、 $s v_s$ および $s v_n$ とすると、式(2-14)から、式(4-16)が成立し、式(4-17)が得られる。

$$S V_T = 10 \log (s v_T)$$

$$S V_s = 10 \log (s v_s)$$

$$S V_n = 10 \log (s v_n) \quad (4-16)$$

$$s v_T = s v_s + s v_n \quad (4-17)$$

A B I Sから出力されるノイズを含む値は、積分処理された値である平均体積散乱強度であるため、平均前の個々の $S V_T$ に関する $S V_s$ および $S V_n$ は得るこ

とができない。従って、詳細なノイズと信号の関係を得ることはできないが、積分処理中の体積散乱強度およびノイズが一定であり、式(4-17)が成立するとしてノイズの影響を考える。ここで、信号とノイズの差を SV_{SN} とし、式(4-18)として定義する。

$$SV_{SN} = SV_S - SV_N \quad (4-18)$$

次に、ノイズによって補正する値を SV_z とすると、 SV_z は式(4-19)となる。

$$SV_z = SV_I - SV_S \quad (4-19)$$

従って、式(4-16)および式(4-18)から、式(2-14)の関係より式(4-20)が得られる。

$$SV_{SN} = 10 \log (s_{vS} / s_{vN}) \quad (4-20)$$

また、式(4-16)および式(4-19)から、式(4-21)が得られる。

$$SV_z = 10 \log (s_{vI} / s_{vS}) \quad (4-21)$$

式(4-17)を式(4-21)に代入し、式(4-22)となる。

$$SV_z = 10 \log (1 + s_{vN} / s_{vS}) \quad (4-22)$$

式(4-20)より、

$$s_{vN} / s_{vS} = 10^{-s_{vSN} / 10} \quad (4-23)$$

であるから、式(4-22)は式(4-24)となる。

$$S V_{\geq} = 10 \log (1 + 10^{-10 S V_{\leq N}} \cdot 10^2)$$

(4-24)

式(4-24)より、ノイズによって補正する値であるノイズ補正值 $S V_{\geq}$ は散乱層の平均体積散乱強度とノイズの平均体積散乱強度相当値との差 $S V_{\leq N}$ から求めることができる。図4-8に $S V_{\geq} \geq S V_{\leq N}$ の時の $S V_{\geq}$ と $S V_{\leq N}$ の関係を示す。

4. 8 非定常補正

4. 8. 1 動揺補正

計測を行う船舶が海況により動揺を生じ、船底にある送受波器面に気泡が流入し減衰を引き起こす。このような気泡による減衰については Novarini and Bruno (1982) が実験により風速10m/sの条件下では送受波器が水面下5mであればほとんど影響が無いことを示した。本研究に使用した船舶の動揺に対する減衰の影響を計測していないが、送受波器位置は水面下5mであるので特に考慮する必要は無いと考えた。さらに、本研究での体積散乱強度の議論は海況が穏やかな時の結果を用いるため動揺による補正は必要がないと判断した。

4. 8. 2 航走減衰補正

船舶の航走速度により、船底にある送受波器面に気泡等が流入し減衰を引き起こす。この減衰は船舶の動揺とも関連する。本研究では、海況が穏やかな時の結果を用いるため動揺との関連を無視した航走減衰を考えた。

航走減衰に関しては、西村(1969)が周波数との関連で論じており、周波数が高いほど減衰は小さいが、船の規模、船型、送受波器の取り付け状態によって減衰量は異なることも示した。従って、実測によって減衰量を求める必要がある。一般に、航走減衰量の計測は、底質がほぼ一様で平坦な海底の散乱レベルを船速をかえつつ計測する(西村 1969, 古沢 1990)。

本研究も、船速を変化させ海底の散乱レベルを計測することにより航走減衰量を

もとめた。本計測は海底の散乱レベルを絶対値として計測する必要はなく相対的なレベル変化を計測するものである。航走減衰量は3.1および3.2で用いた白鳳丸について計測した。本船の校正を行う以前の仮のパラメータ値を用いたが相対値計測であるため問題は無いと判断した。計測は、1989年3月22日に九州宮崎県沖の水深90~100mの平坦な場所において行った。船速は、0、4、10および15knotの4速で行った。図4-9は、4周波数による海底の相対平均体積散乱強度を示しており、停船時と4knotでは0.1~0.2dB程度の変化であり、50kHz以外は、停船時より高いレベルが示された。高速航行時は周波数によって変化の傾向は異なるが停船時と15knot時で1dB程度の変化が認められた。

4. 8. 3 干渉および欠測補正

魚探計測中に生じる他の音響機器からの干渉ノイズによる体積散乱強度の増大およびシステムの演算エラー等による欠測として生じる体積散乱強度の減少がある。本研究では、積分処理されたSVの時系列データおよび魚探像から判断し、上記の変化を受けたデータは削除した。

4. 9 本研究におけるデータ補正

以上データ補正について記した。本研究でのデータ補正の手順は、①干渉・欠測補正、②ノイズ補正、③校正誤差補正、④航路減衰補正、⑤吸収減衰補正に従って実施した。

4. 10 論議

システムの校正に関しては実際の計測を実施する以前または以後に行い計測機器の信頼性を充分確保しておくために非常に重要な作業である。校正誤差はシステムの経時的変化によって生じる場合と校正時の計測不備および数値の取り扱いによって生じる場合とに分けられる。本システムの校正誤差補正は後者の数値の取り扱いによるものである。ただし、出力電圧は、経時的変化および校正時の出力微調整の

影響であると判断した。

次に、音速補正および吸収減衰補正であるが図4-5に示した様に世界各海域により海洋物理環境（水温、塩分）が異なるため補正值に幅があり海域毎の個別補正が必要なが示された。特に200kHzでは水深100m前後で約5dB程度の補正幅があることがわかった。周波数が低くなるに従い補正值および補正幅は小さくなる傾向であるが、周波数相互の関連として周波数特性を論じるためには水深の増加と共に無視できない値となる。

これら補正值は表4-3(a)に示した設定音速および吸収減衰値に対する補正值であり、設定値が異なれば補正值も異なってくる。広範囲な海域を調査するには、これらの補正は高周波数になるほど重要なものとなる。このため、複数周波数を用いて周波数特性を含めた議論を展開するためには海洋環境計測は欠くことのできない計測項目である。各測点ごとの補正に関しては第5章で述べる。尚、深度補正により積分層は積分設定層に比較し深くなる結果が示された。例えば、図4-6からわかる様に積分設定層90~100m（第9層）は95mでの平均深度補正值が1.8mであるので積分層は92~102m程度となるが、本研究では積分設定層を積分層と表現し、各測点での補正水深で表現しない。

航走減衰補正に関しては、図4-9から、停船時と4knotでは0.1~0.2dB程度の变化であり、50kHz以外は、停船時よりレベルが高い結果であった。これは、航走による底質の散乱強度の変化、音響特性変化等を考慮するとほとんど差がないと判断できるので、2knot程度での航走速度では、航走減衰は0dBであると判断した。また、15knot航走時には、停船時の値を基準値として考えると、120および50kHzではさらにレベルが高くなる結果を得た。この結果は、荒天状態ではなくても停船時の方が航走時よりも船の横揺れ（ローリング）が大きく海底に対する音軸の入射角が不安定であったことが考えられる。また、本計測は一定測線の反復計測であったが計測線下の底質が一定であったとの保証はない。従って、高速航走時の補正に関しては議論の余地はあるが本研究においては補正0dBとして扱うこととした。尚、海底の散乱波は本来は表面残響現象として取り扱う現象であり、表面残響理論に基づいた散乱強度の扱いをする必要がある(Urick 1978)。しかし、距離が安定している場合は体積散乱強度を求めるソナー方程式に従って得た平均体積散乱強度としても相対値として扱うことができる。

ノイズ補正は、図4-7に示したそれぞれの周波数に対する各深度におけるノイズの体積散乱強度相当値を基準とし、計測された体積散乱強度との差を求め、図4-8に示した関係から補正値を得ることによって実施することができる。しかし、ABISから出力される体積散乱強度は積分設定により演算される平均体積散乱強度であり、演算過程における個々の体積散乱強度変動幅は不明である。得られた平均体積散乱強度の値がノイズレベルに近い場合、個々の体積散乱強度の変動は、個々の補正値に大きな影響を与えるため、 SV_{SN} から得られるノイズ補正値の精度を悪くする。本研究では、個々の体積散乱強度の平均体積散乱強度からの振れ幅が最大、最小で3dBであると仮定した時、ノイズ補正値が10%の0.3dB程度となる $SV_{SN}=10$ [dB]を基準とし、 $SV_{SN}>10$ の場合には補正可能としてノイズ補正を行う。 $SV_{SN}\leq 10$ の場合には補正不可能として扱う。すなわち、本研究では $SV_{SN}>10$ を計測可能値とする。 $SV_{SN}\leq 10$ となる可能性は図4-7より、深度増加とともに SV_N が増大するため大きくなり、ノイズに関連した計測可能深度が規定される。ノイズに関連した計測可能深度に関しては第5章で述べる。

以上が、ABISの機器特性、船舶の特性および海洋物理環境特性から得たデータ補正値である。この様に、音響データを様々な海域の比較、深度別の比較および周波数相互の比較に用いる場合は取得した値の精度に充分注意を払わなければならない。本研究の様に複数周波数を使用した、広範囲な計測には欠くことができない重要な処理である。

第5章 超音波散乱層の分布および平均体積散乱強度

5.1 緒言

本章では、初めに散乱層の形態について述べる。次に、世界主要海域での散乱層の分布および散乱強度に関して周波数特性も含めたABISによる4周波数での計測結果を述べる。さらに、散乱層の分布と海洋物理環境の関連について2つの海域を例として論議した。第1は、東北沖暖水塊周辺海域における水温構造と散乱層の分布である。第2は、ニホンウナギの産卵場と考えられているフィリピン東方沖の西部太平洋における塩分構造と散乱層の分布である。

5.2 散乱層の形態

海洋における散乱層の形態は、大別すると2つになる。

第1は、日周鉛直移動を行う生物によって構成された層である。これを本研究では移動型散乱層と言う。移動型散乱層はDSLとも称される様に、多くは昼間300～500m層に位置しており、日没とともに200m以浅の浅層へ移動して来るものである。この移動型散乱層は、散乱層の研究が開始された当初より注目されて来た層で、Eyring *et al.* (1948) 等、多くの研究者によって報告された。

第2は、日周鉛直移動を顕著に行わない生物によって構成された層で、本研究では非移動型散乱層と言う。ただし、非移動とは、固定された層と言う意味ではなく、生物自身の動きもあるが、海洋構造によって動きがより影響されることを意味する。この散乱層の分布は、海洋の物理的、化学的变化に影響されることが報告されている (Weston 1958, Fisher and Squier 1975, 稲垣 1986, 等)。

移動型散乱層

図5-1に典型的な移動型散乱層の経時変化を示す。これは、1989年12月1日～2日に渡り計測した中米沖の太平洋においてABISの50kHzによって計測した散乱層の日周鉛直移動を示した計算機処理像である。この様な移動は、海域および周波数により1層から数層の移動として計測される。間庭 (1982) は、1952～1955年に散乱層の分布および形態を調査し、DSLの記録は帯の様に一様に連続し、これが

一層あるいは数層になり、その厚さは場所および時刻によって異なっていると報告した。また、一日の中で日出前の薄明時および日没前後に最も顕著に多く出現し、夜間がこれにつき、日中は少ない、またこれらは、日没直後に上昇し、日出に向かって表層から下降する例が多いと報告した。

散乱層の移動は、体積散乱強度の変化として捉えることができ、図5-2(a)および(b)は1989年12月に中米沖で計測した散乱層の昼夜移動(図5-1)に対応した50kHzの平均体積散乱強度の変化を示しており、(a)、(b)はそれぞれ40~60m層(浅層)、280~300m層(深層)の結果である。この様に、昼間は散乱層が深層に存在し平均体積散乱強度は大きく、浅層は小さい。しかし、日没後は散乱層の上昇により浅層の平均体積散乱強度は大きくなり、深層が小さくなるのがわかる。

日周鉛直移動は、空中の明るさとの関連があり、照度との関連としては、ベンガル湾での照度変動と連動して鉛直移動する報告がある(Clair and Medwin 1977)。また、青山・石井・青木・稲垣(1982)は28kHz魚探により四国南方の太平洋において日射量と連動する移動を報告した。

移動型散乱層の昼間における存在深度は、様々な海域での報告がある(Hersey and Backus 1962)。青山・石井・青木・稲垣(1982)は28kHz魚探により南シナ海および西部太平洋における5°~32°Nの昼間における移動型散乱層の深度を調べ、低緯度に成るに従いその深度は浅くなることを示した。

非移動型散乱層

非移動型散乱層は、海洋の物理的、化学的な構造によって分布および形態は影響を受ける。Weston(1958)は、夏期の北海における水温躍層に存在する散乱層を報告した。Fisher and Squier(1976)は、カリフォルニア沖で内部波(internal wave)と共に深度変化をする層を報告した。稲垣(1986)は、東シナ海において内部波に連動した層および表層水温フロントの水平移動に連動した層を報告した。

5. 3 世界主要海域の散乱層の分布および平均体積散乱強度

散乱層は生物によって構成され、移動型散乱層は海洋の深層と浅層のエネルギー循環の大きな役割を果たしている。このような移動は、魚探計測によって魚探像とし

て視覚的に捉えることができると共に平均体積散乱強度の変化として、量的に捉えることができることを示した。さらに、多周波数を用いることによって、周波数特性から生物の種およびサイズ等の情報を得ることができる。

本節では、第6章および第7章において生物量と平均体積散乱強度および周波数との関連を論じるための諸データを計測した世界主要海域における散乱層の分布、平均体積散乱強度等の諸特性を明らかにする。用いた資料は、3. 1に記したKH-89-2次航海において計測したものである。音響データ補正に関しては、第4章に記したデータ補正を行った。世界主要海域の散乱層の分布、平均体積散乱強度および周波数特性はCTDデータを基にした吸収減衰補正、音速補正と共に各計測地点ごとに図として整理した。

尚、太平洋に関しては、日本周辺域からアメリカ大陸西岸域まで（Leg. 1, 3. 1参照）は荒天およびCTD不備により海洋物理環境計測は160°E（St. 1）においてのみ実施され、この間のデータ補正はSt. 1のCTDデータから求めた補正值を使用した。また、東シナ海（Leg. 6の一部）は荒天のため音響計測は実施しなかった。

計測を実施した海域を以下の6海域に区分する。

- ① 太平洋-1
太平洋-2
- ② カリブ海・メキシコ湾
- ③ 大西洋
- ④ 地中海
- ⑤ インド洋（アラビア海・ベンガル湾）
- ⑥ 南シナ海

この各海域区分において、主にCTDが行われた観測点近傍での結果を記載した。各海域の計測点位置は図3-1（a, b）中に黒丸で示した。付図（a）～（u）は、各海域を代表する点から得られた昼夜の平均体積散乱強度鉛直分布、昼夜での平均体積散乱強度変化、水温・塩分鉛直分布と吸収減衰補正・音速補正を総合した

データ補正值および昼夜間の周波数特性である。各図の上段は昼夜のデータ補正後の平均体積散乱強度鉛直分布を示し、左が昼間、右が夜間である。図中の4本の線は右欄外に示した各周波数での変化である。中段の左は昼夜間での平均体積散乱強度の差を示し、正の値は夜間が大きいことを示している。図中の4本の線は上段と同様である。右は、水温、塩分および吸収減衰補正・音速補正を総合したデータ補正值を示し、太線は水温、細線は塩分を示しており、他の4本の線は各周波数についてのデータ補正值を示す。周波数との対応は右欄外に示してある。下段は昼夜の周波数特性を示したもので、周波数間の平均体積散乱強度差である。周波数200、120、50および38kHzに周波数番号を付しそれぞれ1、2、3および4とした。

$\Delta S V_{ij}$ は周波数*i*から周波数*j*を引いたことを示す。4周波数では6組の差が得られ、このうち代表として4組の $\Delta S V_{12}$ 、 $\Delta S V_{13}$ 、 $\Delta S V_{14}$ および $\Delta S V_{24}$ の変化を示した。周波数特性は値が正の場合、組み合わせた周波数の高い方が平均体積散乱強度が大きいことを示し、負の場合は低い周波数の方が大きいことを示している。

付図に示した平均体積散乱強度の値は、航走時における積分距離1n.mileで得た平均体積散乱強度をさらに5~10n.mile間で平均した値である。計測した位置は単単位は省略し図中に明記した。平均体積散乱強度およびCTDの鉛直分布表示は水深10~120mまでとした。積分層としては第1層~第11層までである。これは、最もノイズの影響を受ける200kHzの昼間における平均体積散乱強度の分布から判断した計測可能深度であり、200kHzでの夜間および他周波数ではさらに深い深度まで計測可能であるが4周波数の比較が可能である水深を計測可能深度とした。

付図の(a)~(c)は海域区分①太平洋-1であり、CTD観測が1測点であるため直接対応するCTD観測はない。(a)に参考としてST.1のCTD結果を示した。(d)、(l)および(p)は夜間のみの結果で、昼夜比較の図は示していない。(k)および(o)はCTD観測は実施されておらず、近傍測定のCTD結果を基にデータ補正を行った。

表5-1~表5-6は海域区分ごとに散乱層の分布、海洋物理環境との対比および周波数特性を整理したものである。

整理した項目は、以下の通りである。

- I : 夜間の散乱層分布
- II : 昼間の散乱層分布
- III : 昼夜間の散乱層分布の対比
- IV : 海洋物理環境との対比
- V : 周波数特性

以上世界主要海域の散乱層を4周波数で計測し昼夜分布形態、海洋物理環境との関わり、周波数特性を整理した。計測海域の水塊構造、水系等の物理的なことには本研究では言及せず、単に鉛直混合層、水温・塩分躍層との関連を調べることにとどめた。散乱層の分布はインド洋の一部を除き水温・塩分構造に対応した分布をすることが明らかとなった。特に、太平洋-2では夜間の散乱層分布に制約を与えていると考える。散乱層の分布の濃さ(平均体積散乱強度の大きさ)に関しては表5-1から表5-6に整理した様に海域、地点により散乱層の分布形態は異なるが、太平洋-1、太平洋-2、大西洋およびインド洋はそれぞれ海域特有な分布傾向が示された。夜間の散乱層はインド洋が最も平均体積散乱強度が大きく、濃い散乱層が分布した。この現象は昼間においても同様であり多量の生物が分布することが示唆された。このことは昼夜間での生物の鉛直移動は認められるが昼間も200m以浅にとどまる生物も多いことを示唆していると考ええる。太平洋-2も昼夜間の散乱層は濃い、この分布は上層から中層域に限定され、生物の分布層が限定されていることが示唆された。大西洋は、夜間の散乱層の分布は薄く、本研究の結果では、生物量が最も少ない海域であると推定された。

周波数特性は、散乱層の分布と同様に海域、地点により様々であるが、海域毎に一定の特徴を抽出できたと考える。尚、本結果は第9章の生物量推定に用いる。

5. 4 散乱層分布と水温構造の比較

本節の資料は3. 3に示した三陸沖暖水塊および周辺域の音響計測による。図3-3は航海における音響計測線の一部を示し、この内、3本の計測線が同時期に得られた衛星画像から得た点線で示す暖水塊の南端フロント域を横断した。

図5-3は9月21日の昼間に行なわれ、S.T. 47~S.T. 48の間で航走中に計測された魚探像の一部にXBTによる水温変動を重ね合わせたものである。船の進行方向はS.T. 47からS.T. 48(図3-3参照)で、冷水域からフロントを横断し暖水域への移動を計測したものである。下方の50kHz像上に重ねた曲線はX87、X88、X89で得られたXBTによる水温の変化である。X87では表面から30m層までは19°C台の混合層であるが30~50m層の水温躍層から下では2~3°Cに急激に低下しており、冷水域側であることが示されている。X89においては表層での顕著な水温躍層は存在せず水深と共に温度が下降し、150m層に水温躍層が出現した。X88ではX87、X89の両変動の中間的な様相を示した。

これら水温変動と魚探像の変化は対応を示し、散乱層が水温鉛直構造から見る躍層、すなわち冷水と暖水のフロント部分に存在することが観測された。図5-4のS.T. 48直前のX94近傍における結果では、図5-3のX87と同様な水温構造パターンであったが表層混合層は20°C台と高く、躍層下も10~14°C台を示す暖水域内のパターンが計測された。

図5-5はS.T. 51からS.T. 52の間で得られた結果である。計測は9月22日の夜間に行なわれた。計測方向は暖水域から冷水域へのフロント横断であり、図の左端がS.T. 51、右端がS.T. 52となっている。本計測は夜間であり、昼間に比して散乱層からの平均体積散乱強度は強く、濃い像として認められた。これは、日没と共に鉛直移動を行なう移動型散乱層で、動物プランクトン、マイクロネクトンが表層域に上昇した結果である。しかし、昼間に示された水温構造と非移動型散乱層のパターンは保存されていた。

5. 5 散乱層分布と塩分構造の比較

本節の資料は3. 3で述べたニホンウナギ産卵場および周辺海域の計測による。

本航海の計測海域および計測ラインは図3-2に示した。図5-6は拡大した計測海域であり、図中の等値線は計測ライン上で緯度で2度間隔で実施されたCTD(微細観測のために実施されたCTDも含む)から得られた50m層の塩分データによる塩分フロントの位置を示している。

図5-7は、計測ライン4における塩分の鉛直断面図(200mまで)であり、塩分

34. 5 程度で示された位置が塩分フロントである。この様に、CTDの結果から、塩分により計測海域を3つに区分することができた。

- a) 計測海域を南北に区分する塩分フロント域
- b) 北側の高塩分域
- c) 南側の低塩分域

ただし、c)の低塩分域は鉛直断面図(図5-7)より表層から100m程度までが低塩分で、100m程度以深は北側の高塩分水が差し込んでいる。

図5-8は高塩分域における夜間の50kHzによる散乱層の分布例である。平均体積散乱強度が-70dB以下の部分は白抜きにしてあり、130m以深にも散乱層は存在するが、130m以深では急激に平均体積散乱強度の低下が観測された。130m以浅の平均体積散乱強度は-62dB前後と高く、生物量が多いことが示唆された。昼間は、表層から200mまでの間で-70dB以下になることが計測された。

図5-9は低塩分域における昼夜の50kHzによる散乱層の分布例である。この海域の特徴は前記の様に100m前後までは低塩分で、以深は高塩分である。昼間は、高塩分域と同様に全層の平均体積散乱強度は-70dB以下であるが、夜間は日没と共に下層から上昇した生物により平均体積散乱強度は高くなる。しかし、高塩分域に比して全体的に平均体積散乱強度は低く、散乱層は夜間には表層域と75m層以下に2分された。このような分布をCTD結果と比較すると、塩分および水温の躍層が75m近傍にあり、夜間上昇する生物はこの躍層を越えるものと躍層を越えず躍層の下にとどまるものに2分される。

図5-10は、フロント域(計測ライン5)における低塩分側の夜間の散乱層の分布である。散乱層の分布様式は低塩分域と同様であるが、特記できることは塩分、水温躍層以下に集積した散乱層の平均体積散乱強度が低塩分域に比して高かったことである。

図5-11はフロント上の夜間の散乱層の分布および塩分の鉛直断面である。図5-10に継続したもので、低塩分域から高塩分域へのフロント通過後、表層域の平均体積散乱強度が高くなったことが示された。

以上のことから、3つの区分域での散乱層分布は海洋構造(特に塩分)に規定さ

れていることが明らかである。フロント域の散乱層分布は、高・低塩分域の両者の影響を受けた様相を示している。フロントの低塩分側の表層も平均体積散乱強度が高くなり、遊泳力が弱い生物の集積域となっていると考える。

この航海の主目的であるニホンウナギの幼生は計測ライン4、5および6の塩分フロント域で多量に採集された(Tsukamoto 1992)。図5-6のライン上に記した数値が採集個体数である。ただし、ネット曳網回数および曳網方法が異なるので絶対数として比較はできないが、IKPTネットの1曳網当りの採集個体数は825個体採集した場所では16~282個体であり、最も多かった。ウナギ幼生の分布層に関しては、最大個体数採集点で行ったMTDネット採集試料があり、昼夜それぞれ浅層、深層の2回を1組として実施された。MTD曳網層は昼夜共に浅層は0.25、50、75、100および150m、深層は200、250、300および500mの計10層である。

この様な採集により夜間50m層で3個体、75m層で16個体および100m層で2個体が採集された。また、昼間は150m層のみで1個体が採集された。

図5-12(a)および(b)は、それぞれ昼夜間のMTD曳網時の50および38kHzでの平均体積散乱強度の分布を示したものであり、(a)には夜間および昼間採集によりウナギ幼生が採集された層を矢印で示し、採集個体数を併記した。夜間にウナギ幼生が採集された層は50kHzの平均体積散乱強度がピークを示し、昼夜間の平均体積散乱強度差が最も激しい層である。38kHzでは、夜間のピークとはならないが、昼夜間の変動は最も激しい。このことは、散乱層を構成する生物の昼夜間での量変動が最も激しいことを示唆している。

図5-13は夜間の50kHzでの平均体積散乱強度と採集点近傍で実施したCTD3点(A25、K1、K2)の塩分とを併記したものであり、左側には水温プロファイルを示した。図5-14は夜間(C10)および昼間(C16)のMTD実施点とCTD3点の位置関係を示したものである。また、図5-15(a)、(b)は、それぞれMTD採集点を挟む低塩分域(A24)および高塩分域(A26)における夜間の50、38kHzでの平均体積散乱強度と塩分分布である。図5-15(a)は、塩分分布から低塩分域の特徴が読み取れ、図5-10および図5-11で示した散乱層分布と同様な塩分躍層下の平均体積散乱強度のピークが見られ、明らかに低塩分域の測点(A24)である。図5-15(b)は、塩分分布から高塩分域の特徴が読み取れ、40m層に平均体積散乱強度の極小が見られるが、図5-8のバタ

ーンに類似した高塩分域の測点(A26)である。図5-13の測点は、これら2測点の中間に位置し、塩分分布から低塩分域の特徴が読み取れるが、100m以浅の塩分はA24に比して高い。このことから、低塩分域の特徴を示すが、高塩分水との弱混合が考えられ、フロント域であると判断できる。CTD3測点での塩分鉛直変動は多少異なるが、100m程度で顕著な躍層の存在を示し、70m程度でも弱い躍層の存在を示す。50kHzの平均体積散乱強度のピークは、この弱い躍層の下に位置する。計測ライン4でのA24からA26に至る連続した散乱層の分布図は、航走・停船の繰り返しで得ることはできなかったが、計測ライン5(図5-11)と同様なフロント域での変化を示すと考えられ、図5-15(a)の120m層の平均体積散乱強度のピークは図5-13の75m層のピークに連続する散乱層であると判断できる。ウナギ幼生は、この750層から16個体採集されており、塩分躍層下側から連続する散乱層内に分布していたと判断できる。また、昼間の採集では、1個体が15-0層で採集され、多種の移動型散乱層を形成する生物と共に鉛直移動をすることが示唆されるが、夜間に関しては体型から考えると遊泳力に乏しく集束域と考えられる塩分フロント域に集中し、鉛直的な塩分(水温)躍層の直下に集中しているものと判断できる。

5. 6 論議

本章では、初めに散乱層の形態を大きくふたつに分類した。

移動型散乱層は、日出没に関連した日周鉛直移動を行い外洋域では夜間に浅層で観測され、昼間は深層(300~500m程度)に移動する散乱層である。一方、非移動型散乱層は、移動型散乱層に比し鉛直的な移動が顕著ではなく、昼間でも浅層域で観測されるものである。この昼間での分布は海洋物理環境(水温、塩分等)により分布が制約される。しかし、夜間のみ両散乱層の浅層域での分布は共通点があり、海洋物理環境に制約を受ける分布となり、時間を意識しない空間分布としては共通性が認められた。

本研究では非移動型散乱層として太平洋・三陸沖の暖水塊周辺海域をを取り上げた。三陸沖に形成される暖水塊および周辺海域はカツオ、サンマ等の浮魚の好漁場として知られている。ここに漁場が形成されるためには回遊する魚類の生活に適し

た物理的環境と共に餌生物となる動物プランクトン等の小型生物の分布も重要な要因となると考える。従って、三陸沖暖水塊域での漁場形成機構の解明には、暖水塊の消長という長期的な変動調査と共に暖水とこれを取り囲む冷水とのフロント域で短期的なプランクトンの分布も含めた魚群分布調査が重要となってくる。本海域での調査では、生物の直接的な試料は取得できなかったが、暖水塊フロント域での魚群および散乱層の同時計測が行なわれ、非移動型散乱層が水温を指標とするフロント構造と対応することから水塊区分の指標となることが明確になったと考える。すなわち物理環境変動が複雑な漁場における魚群の分布と海洋構造の対応を魚探探査により同時計測できることが示されたと考える。この様な調査は昼間に実施することが可能であり、密集した魚群の移動を水平ソナー等で同時に調査することで漁場内の生物行動様式がさらに明らかにすることが可能であると考え。今後の三陸沖暖水塊および周辺海域の漁場形成機構の解明、さらには他海域の漁場探査においてはこのような音響計測が一助になることが期待される。

次に、移動型散乱層に関しては、西部太平洋海域を例として計測した。本海域は塩分によるフロントが形成され、昼間は音響計測では明らかにできない海洋構造を夜間移動により出現する移動型散乱層により示すことができることを明らかにし、さらに特定生物（ニホンウナギ幼生）の分布、生態に関する知見を散乱層の音響計測から得られる可能性を示した。このことは、他の海域においても音響計測により散乱層構造を調査することによって海洋環境構造と生物分布との関連を明らかにできる可能性を示していると考え。

以上の様に、散乱層は海洋物理構造と密接な関係にあり、生物の分布生態等に関連した海洋環境測定計画に重要な情報を提供する。生物の分布、移動は海洋環境に小型生物ほど大きく影響されと考えられ、特にフロント域での調査を実施する場合は、時間の配分もあろうが、初めに音響およびCTD等によるライン観測を実施し、フロント等の位置を確認した後、ネット採集を実施することで効率良い作業が可能となると考える。また、従来方式に従う場合には、音響計測による散乱層パターンの変化をモニターし、散乱層パターンが変化した時にはCTDもしくはXBTによる計測を実施することで生物に対応した海洋環境が的確におさえられると考える。

世界主要海域の散乱層に関しては、4周波数で計測し分布、周波数特性等を明ら

かにした。この様な地球規模の散乱層の分布（体積散乱強度、周波数特性）に関する研究は低周波数（30kHz以下）での報告があるが、本研究の様な200m以浅を対象とし、深度層を細かく分割した報告はない。これまでの30kHz以下の計測は柱状散乱強度の計測であった。計測方法は異なり、水中である周波数の帯域幅を有する音（爆発音源）を放射し、ハイドロフォンにより集音、解析する方法である。これらの研究は1960年代から1970年代の初めに行われ、Hall(1971)は、3.5~12kHz帯で南シナ海およびインド洋を計測し、Scringer and Turner(1973)は、1.25~20kHz帯でバンクーバーからハワイ諸島にかけての太平洋を計測した。また、Chapman *et al.* (1974)は、0.8~25.6kHz帯で太平洋、大西洋、カリブ海、地中海およびその周辺海域を幅広く計測したものをまとめている。

Chapman *et al.* (1974)は、北大西洋域において夜間の3~5kHz程度の低周波数帯において昼間とは異なる高レベルの柱状散乱強度を計測し、夜間上昇する魚の鱗の変化から共振周波数が変化すると報告している。

本研究は、これらの計測とは異なり38kHz以上の周波数である。また、200m以深は200および120kHzではノイズの影響により計測困難であるため昼間と夜間との移動に伴う散乱層の体積散乱強度の変化は分析できない。ただし日没時の200m以浅での変化は計測しており、今後の問題とするが、本研究の周波数は魚（マイクロネクトン）の鱗の共振周波数より高い。本研究の結果からは、10m間隔で10~120mまでの4周波数による平均体積散乱強度が計測され、各海域の特徴が明らかとなった。平均体積散乱強度の周波数特性は、第7章以降で展開する生物サイズに関する重要な情報であり、平均体積散乱強度の大きさは、生物量に関連した重要な情報である。さらに、夜間の散乱強度の鉛直変化は海洋環境と散乱層との関係が示され、東北沖暖水塊および西部太平洋域で観測、解析したスケールよりさらに大きな水塊構造を連続的に把握する手段として音響機器が利用可能であることが示唆されたと考える。しかし、音響計測には吸収およびノイズにより計測深度（距離）には限界がある。特に、高周波数での限界があり、計測される平均体積散乱強度とノイズレベルの相対関係により計測可能な深度が規定される。本研究では、最もノイズの影響を受ける200kHzを基準として計測可能深度を決定した。本研究では200kHzにおいて平均体積散乱強度とノイズの平均体積散乱強度相当値が10dB以上であることを判断基準とした。ただし、この基準は一応の目安である。図4-7からわかる様に平

均体積散乱強度に換算したノイズレベルは200kHzが最も高く、本研究の計測可能深度とした120mのノイズレベルは-87 dBである。従って、差を10dB以上とすると計測される平均体積散乱強度が-77dB 以上なければならない。夜間の計測ではほぼこの基準を満足した計測値が得られたが、昼間はノイズレベルと同等の値が計測され、このような場合はほとんど信頼度が低い結果となり、一部データには平均体積散乱強度は信頼度が低い場合も含まれている。しかし、一部を除けば総体的に十分な精度が保証され信頼性は高いと考える。

データの精度は、多周波数間での比較を行う場合には非常に重要なことである。間庭(1962)は、日本近海の散乱層の計測において50kHz より200kHzのほうが明瞭に散乱層を記録したことを報告し、鈴木(1963)は、28kHz では捉えられないが200kHzで記録される散乱層を報告した。また、Barraclouth and LeBrasseur(1969)は、200kHzによる計測で大型のコペポダで構成される散乱層を発見し、報告している。

この様に、散乱層の探知は高い周波数の方が有効とする報告も多い。一方、本研究の結果では、低い周波数の方が平均体積散乱強度が大きかった。すなわち、低い周波数のほうが明瞭な記録となる。構成生物による周波数特性が現われたものと判断するが、慎重に対処するためデータの精度に充分注意を払った。

第6章 平均体積散乱強度と生物量

6.1 緒言

第5章では散乱層の海洋における一般的性状を整理し、世界主要海域における移動型散乱層を主体とした浅層域における昼夜での平均体積散乱強度の周波数特性を含む変動の特徴を明らかにした。また、移動型散乱層および非移動型散乱層の計測例として、2つの海域を選び、海洋物理環境の変動との関係を明らかにした。

本章では、散乱層からの音響情報と散乱層構成生物との関連をさらに深めるため、平均体積散乱強度と生物量との関連を明らかにする。

動物プランクトン、マイクロネクトンの現存量および種組成、サイズ組成の知見は海洋資源や生物過程等の理解を深めるために重要である。現在、このような情報の入手は、目的に応じた、様々なタイプのプランクトンネットおよびポンプ採水による採集に依存している。従って、生物量の時間的、空間的な動的変化を知るためには多大な時間と労力が必要となる。この点、音響（魚探）によるリモートセンシングにより生物量の推定が可能となれば、短時間で広い空間の動的変化を連続的に計測できる様になる。音響リモートセンシングによる生物量推定へのアプローチは大別して、2つの手法が考えられる。第1は、音響計測と並行して生物採集を行い、その時の生物量と平均体積散乱強度との関係を回帰分析から求める手法である。第2は、理論および実験から生物の音響特性を検討し、これにより構築した散乱モデルから生物量を推定する手法である。前者の回帰分析から求める手法は、従来から行われてきた手法であり、生物量指標としては湿重量 (wet weight)、乾重量 (dry weight) としての生物重量および個体数が用いられている。この手法による近年の報告としては、Pieper (1979)、Sameoto (1980)、鈴木ら (1984)、滝口ら (1988) 等がある。後者の散乱モデルから求める手法開発は、多周波数による研究と共に開始された。この手法の特徴は、量的な推定と共に周波数特性からサイズ組成を検討することができることにある。この手法に関しては、第7章および第8章で扱い、本章で扱う生物量推定手法は前者の回帰分析によるものである。

本章で扱うデータは1989年10月22日から1990年3月5日の間に実施されたKH-89-2次航海で取得したものである (3.1参照)。

6. 2 生物採集

採集器具

散乱層を構成する動物プランクトン、マイクロネクトンを採集するための採集器具はいろいろ考案されており、対象とする生物のサイズ、採集目的に合わせ使い分けられている（元田 1974）。採集器具は採水ポンプとネットに区分され、採水ポンプは植物プランクトンおよび小型でかつ遊泳力に乏しい動物の採集に適しているがオキアミ類、マイクロネクトンの採集には適さない。ネットは各種あり、目的に応じて選択すれば動物プランクトンおよびマイクロネクトンの採集は可能である。

本研究における生物採集は散乱層の構成生物の確認も重要なことであるが、さらに重要なことは魚探で計測した散乱層の平均体積散乱強度との対比を行うための量的情報を得ることである。従って、定量性があるネットを選択する必要があるが、本研究では量的情報を得るために開発され、また実績のある東京大学海洋研究所標準ネットであるORIネット（Ocean Research Institute Net）を使用した。ORIネットの規格は図6-1に示す。本ネットは口径160cm（開口面積 $2m^2$ ）のリングネットで、ネットの目は2.00mm、1.00mm、0.69mmおよび0.33mmの4種あるが、目づまりによる濾水効率低下の回避および1mm程度のコペポダ採集が可能なネットとして目合0.69mmであるORI-69ネットを使用した。

曳網方法

曳網方法は散乱層内の一定の深度層を曳網する手法を採用した。曳網は重錘50Kgを付けたワイヤーに取り付け（図6-1）、船の後方から実施した（図6-2）。本ネットは開閉式ネットではないためネットの定深度までの降下および揚網開始から揚取までの間も採集状態であるため曳網方法としては傾斜曳きの範疇に入る。しかし、以下に示す様に一定深度での曳網時間を20分間とし、投揚網時の濾水量は少ないため、水平曳き採集とみなすことができる。投網、曳網および揚網時の船速およびワイヤーの繰り出し、巻き上げ速度を表6-1に示し、ワイヤー繰り出し長を80mおよび150mとする水平曳きを想定した時の各状態での濾水比をネットの対水移動距離から推定した値を表6-2に示す。ワイヤー繰り出し長とORIネット深度の関係について記した報告はないが、経験的なものとしてワイヤー長は設定水深

の約2倍前後としている。この表から全濾水に対する水平曳き時の濾水比はワイヤー繰り出し長80m および150mでそれぞれ84%および91%となる。本研究での採集時のワイヤー繰り出し長は表3-1(a, b)より、14Nd以外は150mより短い。従って、水平曳網時の濾水比は84%以上とみなせ、採集生物は水平曳網時のものであるとして扱った。尚、ネットの曳網深度および安定性を確認するためネットリングにデジタル深度計(離合社製)を設置し、1分間隔で計測した。また、採集時の濾水体積を求めるため、濾水計(離合社製)をネットリングの中央に設置した(図6-1)。

6. 3 結果および考察

6. 3. 1 生物採集点、採集層および曳網の安定性

生物採集点は図3-1(a)および(b)にすでに示した。生物採集は、太平洋、カリブ海、メキシコ湾、大西洋、地中海、インド洋(アラビア海、ベンガル湾)、および南シナ海で実施した。測点数は合計19点である。採集時刻は、移動型散乱層が活発に鉛直移動を行う日没時は避け、夜間および昼間に行った。測点でのネットの曳網回数は昼夜実施可能な時は、昼夜それぞれ1セット(2曳網)実施し、計2セットとした。その他は夜間のみ1セット実施した。曳網総数は49であった。曳網層は、5. 3で示した世界主要海域の4周波数の平均体積散乱強度分布から明らかにした様にABISの性能およびノイズとの関連から120m以浅に設定した。

図6-3(a)および(b)はネット曳網時のネット深度の時系列変動例である。曳網深度の安定性は本研究では重要なことで、生物量と平均体積散乱強度との関連を論じる場合、水平的な安定した生物採集が必要となる。図6-3(a)は曳網深度が安定していた時の例であり、図中の1は、ワイヤー繰り出しが止まり、水平曳きを開始された時刻で、2は揚取開始時刻である。この1と2の間で深度が安定していた採集が平均体積散乱強度との比較において有効となる。反対に、図6-3(b)は曳網深度が非常に不安定であった時の例である。このような曳網深度の不安定は海洋の流動条件および船の速度変動に起因すると考えられる。すなわち、ネットの受ける抵抗が対水速度によって変化し、曳網深度が変化するわけである。

本研究においては、このことを考慮に入れ、船の速度が2ノットに安定したことを確認して行ったが、表層と曳網層との流速不一致等で起こったと考えられる現象であり、制御する事はできなかった。

図6-3の下側はネット曳網が安定および不安定時の1と2の間での深度を1分毎に求め、これを5m区分した時の頻度分布である。本研究では、曳網49回中、深度計不備を除く46の曳網についてネット曳網の安定性を調べ27回の曳網を安定曳網とした。ネット曳網の安定性の基準はワイヤー繰り出し後の水平曳網態勢開始から巻き上げ開始までの間、深度幅が20m以内とした。表6-3は安定性があると判断した曳網であり、曳網深度幅を並記した。

曳網による濾水体積 V_t [m^3]は校正された濾水計の回転数 Re およびネットの開口面積 S_n [m^2]から以下の式によって求めた。

$$V_t = S_n \cdot Re / Re_a \quad (6-1)$$

ここで、 Re_a は単位距離当りの回転数である。表6-3に各採集での濾水体積を示す。

6. 3. 2 平均体積散乱強度

平均体積散乱強度はネット曳網中、連続して計測し、計測エラー(欠測・干渉)および吸収減衰補正、音速補正、積分補正、ノイズ補正は第4章での処理に従った。

生物量との比較に用いた平均体積散乱強度は、曳網が1つの積分層内に安定していた場合は1つの積分層の水平曳網時(20分間)の平均体積散乱強度とした。2および3層の積分層に渡る曳網の場合は2および3層の平均体積散乱強度とした。

6. 3. 3 生物量

ネット採集によって得られた生物は約10%の海水中性ホルマリンで固定した。採集した生物は多量であり、これらを計数して個体数を求めることは、多大な労

力を要する。従って、プランクトン等の小型生物の生物量を示す場合には、一般に次の2つの量を用いられる。

第1は単位空間(海水)体積当りに存在する生物の重量として、湿重量(wet weight)および乾重量(dry weight)である。第2は、単位空間体積当りの生物の体積として、排斥水量(displacement volume)および沈澱量(settling volume)である。

ここで、生物量をどのような観点から捉えるかが重要となる。生物資源、餌料資源として捉えるならば、エネルギー量への置換が考えられる重量を指標として選択すべきと考える。音響理論からは体積に関する情報が得られる。

ターゲットストレングスと体積散乱強度の関係は、式(2-33)に示されている。ここで、単位空間体積当りの個体数 N は、1個体の平均重量を w とし、単位空間体積当りの生物重量を W とすると、式(6-2)として求められる。

$$N = W / w \quad (6-2)$$

また1個体の平均体積を v とし、単位空間体積当りの生物体積を V とすると、式(6-3)として求められる。

$$N = V / v \quad (6-3)$$

この点では重量および体積は両値共に式(2-33)の N と置換できるが、ターゲットストレングスは、式(2-5)で定義される様に後方散乱断面積の関数であり、「長さ」の単位で扱われる。従って、生物量の指標も「長さ」の単位から求められる体積を採用することが妥当であると考え、本研究では体積を生物量の指標として採用した。体積としては、排斥水量と沈澱量があるが、生物体の損傷も少なく、簡便に計測できることから沈澱量を採用した。

沈澱量は、航海終了後の1990年3月20日から3月23日の間に計測を行った。計測に用いた沈澱管は1000mlのメスシリンダーであり、読み取りは24時間静置した後に行った。沈澱量は濾水体積 V_f で除し、単位空間体積当りの量に変換した。表6-4に、この結果から得た値を対数生物量として示す。また、図6-4に採集点順

の対数生物量を示す。尚、対数生物量は以下の様に求めた。単位空間体積当りの沈殿量 V は、計測時の沈殿量 V_0 [m^3] および濾水体積 V_1 [m^3] から、式 (6-4) となる。

$$V = V_0 / V_1 \quad (6-4)$$

対数生物量 BIO は、式 (6-5) と定義した。

$$BIO = 1.0 \log V \quad (6-5)$$

ここで、 $V_0 > 0$ および $V_1 \geq V_0$ であるから $0 < V \leq 1$ である。

図 6-4 は、図 3-1 (a) および (b) に示す採集海域の任意層での対数生物量であり、また昼夜の採集が混在しているため、海域の生物量を代表するものではないが 100m 以浅における生物量の傾向を示していると考えられ、生物量の最も多い海域は湧昇域である太平洋・中米沖であった。中米沖以外の太平洋海域は本研究航海では悪天候であったため曳網できず太平洋全体との比較はできないが大西洋は比較的生物量の少ない海域であった。インド洋 (アラビア海、ベンガル湾) は、他の海域が北半球中緯度域に対し北半球低緯度および赤道に面しているため緯度的な比較はできないが生物量が比較的多い海域と考えられた。

6. 3. 4 平均体積散乱強度と生物量

6. 3. 1 のネットの曳網安定性から平均体積散乱強度と生物量との比較が可能なネット曳網点は、49 曳網中 27 曳網を選択した。表 6-4 に 27 測点での対数生物量に対する同時計測から得た 4 周波数の平均体積散乱強度を示す。

図 6-5 (a) ~ (d) に 200、120、50 および 38 kHz で得た SV_i (i は周波数を示す) と対数生物量 BIO との関係を示す。本研究は計測した平均体積散乱強度から生物量を推定することが目的であるが、計測される平均体積散乱強度は単位空間体積内に存在する生物の量、形状、大きさ等により変化する値である。従って、平均体積散乱強度を生物の量、形状、大きさ等の独立変数によって変化する従属変数

として扱い、平均体積散乱強度と対数生物量の関係を求めた。図中の実線は回帰分析によって求めた回帰直線であり、回帰式および相関係数 r_r は以下の通りである。

$$\begin{aligned} S V_{200} &= 0.99 \cdot B I O - 5.6 \\ r_{200} &= 0.82 \end{aligned} \quad (6-6)$$

$$\begin{aligned} S V_{120} &= 0.96 \cdot B I O - 5.3 \\ r_{120} &= 0.83 \end{aligned} \quad (6-7)$$

$$\begin{aligned} S V_{50} &= 0.90 \cdot B I O - 3.7 \\ r_{50} &= 0.70 \end{aligned} \quad (6-8)$$

$$\begin{aligned} S V_{28} &= 0.97 \cdot B I O - 2.0 \\ r_{28} &= 0.74 \end{aligned} \quad (6-9)$$

これら4つの回帰直線は、回帰係数が1に近い回帰式として求められ、4周波数の回帰直線を図6-6にまとめて示す。尚、相関係数は50kHzで最も低く0.70であり、高周波数(200および120kHz)では0.8以上となった。

上記の4つの回帰に関して、統計量の有意性検定および信頼限界を求めた。回帰係数の有意性検定においては、有意水準0.01においてすべて有意であった。また、回帰係数の95%信頼限界を表6-5に示す。さらに、4つの回帰係数の任意な組合せによる、ふたつの回帰係数の比較検定では、すべての組合せにおいて有意水準0.05で有意ではない。しかし、任意のふたつの回帰式の常数項の比較においては、有意水準0.05においてすべて有意であった。

さて、式(2-33)および式(6-3)、式(6-5)から、式(6-10)が得られる。

$$S V_f = T S_f + B I O - 10 \log V \quad (6-10)$$

ただし、 f は周波数を表わす。

ここで、全曳網点における生物個体の平均体積 v および平均ターゲットストレングス $T S_r$ を一定値とすると、 $S V_r$ と $B I O$ の差は定数 C_r と仮定でき、 C_r は、式 (6-11) として示すことができる。

$$C_r = T S_r - 1.0 \log v \quad (6-11)$$

式 (6-10) および式 (6-11) から、式 (6-12) となる。

$$S V_r = B I O + C_r \quad (6-12)$$

すなわち、上記の仮定のもとでは、 $S V_r$ と $B I O$ の関係は回帰係数が 1 となる。

式 (6-6) ~ 式 (6-9) の回帰係数の 95% 信頼限界である表 6-5 から、回帰係数 1 は 95% 信頼限界内に入る。また有意な回帰係数の差は認められないことから、 C_r を定数とする仮定が成立するものとして回帰係数を 1 として、計測値から最小 2 乗法によって一次式を求めた、これを理想仮定直線と呼ぶことにする。求められた理想仮定直線を以下に示し、図 6-7 に示す。

$$S V_{200} = B I O - 4.6 \quad (6-13)$$

$$S V_{120} = B I O - 2.7 \quad (6-14)$$

$$S V_{50} = B I O + 3.5 \quad (6-15)$$

$$S V_{20} = B I O + 0.3 \quad (6-16)$$

これらの理想仮定直線と回帰直線との関係は比較的良く一致した関係が示されたが、各周波数の理想仮定直線は重ならず、同一生物量に対する $S V_r$ は 50kHz が最も高く、ついで 38、120、200kHz であることが示された。この結果は計測誤差を含むと考えられるが、理想仮定においては、常数項は C_r であり、平均体積 v は、4 周波数に対して共通項であることから、4 周波数における平均ターゲットストレングス

TS) が異なることを意味する。

6. 3. 5 生物量誤差

本研究に使用した生物量指標は沈澱量としての体積である。生物サンプルは約10%の海水中性ホルマリンで固定、保存され、15日から110日経過した後に沈澱量の計測に用いられた。

ここで問題となるのは、生物体の脱水等による体積の減少である。Steedman (1976) は、動物プランクトンのホルマリンによる体積減少に関してまとめており、管クラゲ、サルバ等が大部分を占めているサンプルの場合は、24時間で32~40%の体積減少があると報告した。甲殻類では、2年間でも4~8%の減少であり、数種のゼラチン質のプランクトンは22カ月で80%の減少があることを示した。従って、様々な種が混在するサンプルの経時的な体積減少は種組成によって異なると思われる。

本研究に使用した生物サンプルの沈澱量は前記した通り、採集後15日から110日経過した値である。しかし、採集直後の計測は行っておらず、体積減少率は不明である。従って、詳細な議論はできないが、他の研究航海において採集した生物 (KH-91-4 航海: 3. 2) について沈澱量の経時変化を計測した結果が参考となる。

沈澱量計測に使用したサンプルはIKPTネットの傾斜曳きによる42サンプルである。1回目の計測は採集直後に約10%の海水中性ホルマリンで固定されたサンプルを用い、数時間以内に実施した。2回目の計測は30日から40日経過後に実施した。この結果、2回目の1回目に対する沈澱量の減少率は最大39%、最小0%であり、平均14.8%、標準偏差8.8%であった。減少率の差はサンプルに含まれたゼラチン質の生物量差によるものと思われる。

Steedman (1976) は、含水率90%のゼラチン物質を用いた実験において、4%の海水ホルマリン中では初めの1カ月間で約25%の重量減少があるが、それ以後の減少率は急激に低下し、4カ月目でも減少率は約29%であることを示した。このことより、2回目の計測は30日から40日後であるから、急激減少が終了した後の計測と考えて良い。また、本研究に使用したサンプルの沈澱量計測は10日から110日であり、東シナ海のサンプル以外は30日以上経過後の計測であるから、

これらも急激減少後の計測と考えて良い。従って、本研究に使用した沈澱量も15%程度の減少があったと考える。

6. 4 論議

回帰分析手法によって、4周波数それぞれの対数生物量 BIO と SVI の関係が得られた。生物の周波数特性が示唆されたが、本研究での海域における生物量の推定および比較は、理想仮定に従った実験式として回帰直線を用いることで可能であると考える。しかし、得られた回帰式が、あらゆる海域もしくは特定の海域で適用可能かは論議が必要である。

滝口ら(1988)は、北海道渡島半島沖で28.5および96.2kHzの2周波数による計測を行い、生物量との関係を求め96.2kHzで本研究の傾向とは異なる結果を得た。滝口ら(1988)の結果は生物量指標として単位空間体積当りの湿重量を用いたものであり、6.3.3で示した個体数 N に置換できる量であるが、回帰分析手法での結果を論じる上では、常数項は単位がことなり比較はできないが、回帰係数に関しては本研究結果と同等に扱える。滝口ら(1988)は、IKMTネットによる採集生物量と2周波数の SV との関係を求め、28.5kHzにおいては、本研究の回帰係数に換算して、0.931($r=0.82$)を得たが、96.2kHzでは0.503($r=0.75$)を得た。この結果は、同一地点での季節を変えて行った観測であり、96.2kHzでの回帰係数の値は、低生物量の時は比較的小型な生物であり、高生物量の時は比較的大型な生物であったため、生物サイズおよび種組成から生じる周波数特性による偏りがあったことを原因であるとしている。従って、本研究の結果は、生物サイズおよび種組成に海域差があったとしても、量的な変化とは無関係であったため、周波数による特性が顕著に現われず4周波数とも C_i を定数と仮定した場合と良く一致した回帰係数が得られたものと考えられる。ただし、周波数特性による影響として、生物量に対する SVI の回帰からの変動が生じたと考える。これに対し、滝口らの結果は生物量と生物サイズおよび種組成との関係に偏りがあり、周波数特性の影響が直接回帰係数に現われたものとする。このことから、本研究の回帰式は、特定海域での生物の季節等によるサイズ組成変化を伴う量変動計測には直接応用することはできないと考える。滝口ら(1988)の結果は、回帰分析手法の問題点として指摘でき

る。すなわち、式(6-11)で示した C_i が定数でないことを意味している。滝口らの結果で見ると、生物が小型になると96.2kHzでは C_i が相対的に大型の時より大きくなる傾向が示された。従って、 C_i は生物サイズによるターゲットストレングスおよびサイズを関数としており、計測される散乱層によって値が異なる変数としてさらに論議する必要がある。

次に、生物採集の誤差についてであるが、Sameoto(1980)は120kHzによってオキアミ量の計測を行い、単位体積当りの湿重量および個体数とSVとの関係において、昼夜で関係が異なることを論じた。昼夜同値であった平均体積散乱強度に対し、昼間の方が夜間より採集生物量が少なく、生物の視覚等によるネットアボイダンスによるものと結論した。また、異なる期間での関係にも差があることを論じ、2つの期間で使用した採集器具が異なることから、採集効率の差であると結論した。また、生物の行動によるネットアボイダンスに関しては、曳網速度と生物種によることも論じられている(Clutter and Anraku 1968)。

本研究においては、採集器具はORIネットに統一し、採集方法も統一したが、採集生物量と真の現存生物量を比較するための情報は何もない。従って、本論では、統一された器具および方法によったことで、採集効率は一定であったとし、現存量に比例した採集がなされたと考える。ただし、沈殿量計測においては、経時変化としての体積減少15%を考慮する必要がある。

第7章 散乱モデルの検討

7. 1 緒言

第6章では、回帰分析手法によって、生物量と平均体積散乱強度の関係を明らかにした。この手法は、生物採集方法、生物量計測方法に議論の余地はあるが、海洋現場を主体とした生物採集と魚探計測による平均体積散乱強度から単純な関係として求めることができる。回帰直線が、 C_1 を定数と仮定した理想仮定直線の回帰係数と同様に1となれば、計測された平均体積散乱強度は生物量を反映した値となり、単一周波数での計測結果からでも生物量の推定が可能となる。しかし、前章の論議において触れた様に回帰係数が1とならない場合は注意が必要である。また回帰係数が1であっても C_1 が対象とした散乱層によって異なる場合には、これを評価せずに平均体積散乱強度から生物量を推定することはできない。

本章では、この C_1 を変数として扱い、生物個体の散乱モデルを用いて論議するための散乱モデルの検討をおこない、散乱層に適用できるモデルの選択を行う。本章で扱うデータは、第6章で解析した平均体積散乱強度と生物量の関係である。本章では、散乱様式（非共振散乱および共振散乱）が異なる散乱モデルについて検討を行った。

7. 2 モデルの設定

ターゲットストレングスは式(2-5)で定義され、音響散乱断面積 σ は、非共振散乱および共振散乱モデルにより表わすことができる。

非共振散乱モデル

生物体に関する非共振は、Anderson (1950) の理論が応用され、Johnson (1977a) によって動物プランクトンに適用されるモデルが作られた。Johnson (1977a) のモデル（以降Johnson モデルと記す）では、生物体を同一体積の等価球として扱い、音響散乱断面積と幾何学的散乱断面積との比は、式(7-1)で示される。

$$\sigma / (\pi \cdot a^2) = 8B \cdot (k \cdot a)^4 / \{2 + 3(k \cdot a)^2\} \quad (7-1)$$

ここでBは、式(7-2)である。

$$B = \{ (1-g \cdot h^2) / (3g \cdot h^2) + (1-g) / (1+2g) \}^2 \quad (7-2)$$

式(7-1)および式(7-2)の各パラメータを以下に整理する。

- σ : 生物体の音響的散乱断面積 [m²]
- a : 生物体の等価半径 [m]
- k : 波数
- g : 生物体の密度 ρ_a [kg/m³] と海水の密度 ρ との比
 $g = \rho_a / \rho$
- h : 生物体内の音速 c_a [m/s] と海水中の音速 c との比
 $h = c_a / c$

Foote(1990) はナンキョクオキアミ (*Euphausia superba*) のターゲットストレンジスと等価半径との関係を38および120kHzで計測し、Johnsonモデルと良く一致した結果を得た。

共振散乱モデル

生物を対象とした共振散乱の取り扱いはいふたつある。

第1は、魚類の鱗による鱗共振であり、魚類の鱗による共振散乱の音響散乱断面積と幾何学的散乱断面積との比はWeston(1967)により式(7-3)で示された。

$$\sigma / (\pi \cdot a^2) = 4 [\{ (f_a / f)^2 - 1 \}^2 + \delta^2]^{-1} \quad (7-3)$$

ここで、 f_0 は共振周波数であり、 δ は以下に示すダンピング定数 (damping coefficient) である。ダンピング定数は、散乱因子を共振体である気泡 (鰾) とした時、共振周波数 f_0 および共振周波数での散乱振幅の平方値が $1/2$ に減少する上限 f_1 と下限 f_2 の周波数であり、式 (7-4) で定義される。

$$\delta = (f_1 - f_2) / f_0 \quad (7-4)$$

鰾を有する魚類に関する共振については、鰾がターゲットストレングスに寄与していることが実験観測によって示されており、Andreeva (1974) は鰾の共振周波数を式 (7-5) の様に示した。

$$f_0 = \{ (3\gamma \cdot p_0 + 4\mu^{0.5} / \rho_0) / (2\pi a') \} \quad (7-5)$$

ここで、

a' : 単位を [cm] とした等価半径。 $a = 100a'$ である。

p_0 : 静水圧 [dyn/cm²]

ρ_0 : 海水密度 [g/cm³]

γ : 鰾内の気体の比熱比

μ : 生物体組織のせん断弾性係数の実部 [dyn/cm²]

である。

第2は、気体を内在しない動物プランクトンを対象とした共振モデルである。動物プランクトンを対象とした体共振に関しては、McCartney (1970) によって検討され、近年ではKristensen and Dalen (1986) らによって検討された。

Kristensen and Dalen (1986) は、生物体内の音響特性として Johnson モデルと同様に式 (7-2) の B を導入し、さらに生物の音源方向に対する定位角度による指向性を考え、音響的散乱断面積と幾何学的散乱断面積の関係を式 (7-6) として示した。

$$\sigma / (\pi \cdot a^2) = 4 \cdot B \cdot \pi^{-1} \cdot [\{ (f_0 / f)^2 - 1 \}^2 + \delta^2]^{-1} \cdot d(f, a, \phi) \quad (7-6)$$

ここで、 $d(f, a, \phi)$ は、生物の音源方向に対する定位角度 ϕ による指向性補正係数である。Kristensen Dalen(1986)は、共振周波数 f_a を実験結果から、 $k \cdot a = 0.5$ となる周波数であることを求めた。従って、式(2-6)の両辺に a を乗し、

$$k \cdot a = 2\pi \cdot f \cdot a / c = 0.5 \quad (7-7)$$

の関係から、この時の周波数を f_v として式(7-8)の関係となる。

$$f_a = c / (4\pi \cdot a) \quad (7-8)$$

Kristensen and Dalen(1986)は、このモデルを用いて、採集したオキアミのサイズ組成とモデルによるサイズ組成が非常に良く一致することを示した。

尚、本研究では散乱層を構成する生物としてマイクロネクトンおよび動物プランクトンを対象とするため、マイクロネクトンに関しては鱗共振を考慮しなければならないが、このことに関しては後段で論議する。論を進めるに当たってはマイクロネクトンも体共振と仮定し、Kristensen and Dalen(1986)の示したモデルを共振モデルとした(以降、このモデルをKristensenモデルと記す)。

7. 3 結果および考察

モデルの選択にあたり、非共振および共振モデルとしてJohnson モデルおよびKristensenモデルを検討した。

両モデルは、生物体内の音響特性値 B を共通項としており、比較に適している。

両モデルによって得られるターゲットストレングス TS は式(2-5)と式(7-3)および式(2-5)と式(7-6)、式(7-8)から、それぞれ式(7-9)および式(7-10)で示すことができる。

Johnson モデル

$$TS = 10 \log [2B \cdot a^2 (k \cdot a)^4 / \{ 2 + 3 (k \cdot a)^4 \}] \quad (7-9)$$

Kristensen モデル

$$TS = 10 \log [B \cdot a^2 \cdot \pi^{-1} \cdot [\{ (c / 4\pi a f)^2 - 1 \}^2 + \delta^2]^{-1} \cdot d(f, a, \phi)] \quad (7-10)$$

上記の両モデルと比較するために用いた実測データは表6-4に示した各周波数の平均体積散乱強度である。ここで、両モデルの比較において、 a の変動に伴う TS の変動様式を知る上では両モデルに共通な B を任意の値としてもさしつかえないので、 $B=1$ とした。また、Kristensenモデルのダンピング定数はKristensen and Dalen(1986)に従い $\delta=0.5$ とし、音速は、 $c=1540$ [m]とした。また、定位角度補正項 $d(f, a, \phi)$ は、散乱因子を球体として扱うことより、指向性特性はないものとし、周波数に関与するターゲットストレングスの減衰定数として、 d_r として扱う。

$$d(f, a, \phi) = d_r \quad (7-11)$$

本章では $d_r=1$ として扱う。従って、式(7-10)における変数は等価半径 a および周波数 f である。周波数は本研究に使用したABISの値とし38、50、120および200kHzとし、等価半径は、 $0 < a \leq 5 \cdot 10^{-2}$ mとした。図7-1に、各周波数についてJohnsonモデルにより得られた TS の変化を示す。同様に、図7-2はKristensenモデルの結果を示す。

両モデルの特徴は以下の通りである。

Johnsonモデルでは、 TS は半径 a の増加に対し単調増加であり、 a の値にかかわらず周波数が高いほど TS は大きい。Kristensenモデルでは、 TS は共振点となる半径 a において極大を示し、 a の値によって周波数による TS は大小が入れ替わる。

ここで散乱層構成生物が非共振散乱(Johnsonモデル)する場合の体積散乱強度 SV および共振散乱(Kristensenモデル)する場合の体積散乱強度 SV について考

える。様々な等価半径 a で構成される散乱層については、以下の様に考えることができる。

Johnson モデルの結果からは、 TS は a の値にかかわらず高周波数の方が大きいから、半径 a_i における体積散乱強度および単体散乱係数を高周波数でそれぞれ $TS_1(a_i)$ 、 $ts_1(a_i)$ 、低周波数でそれぞれ $TS_2(a_i)$ 、 $ts_2(a_i)$ とすると、条件より式 (7-12) が成立する。

$$TS_1(a_i) > TS_2(a_i) \quad (7-12)$$

従って、式 (2-2) の関係から、単体散乱係数においても式 (7-13) が成立する。

$$ts_1(a_i) > ts_2(a_i) \quad (7-13)$$

ここで、高周波数の体積散乱係数を sv_1 、低周波数を sv_2 とし、両者の差をとると、式 (2-34) より、

$$sv_1 - sv_2 = \sum \{q_i \cdot ts_1(a_i)\} - \sum \{q_i \cdot ts_2(a_i)\} \quad (7-14)$$

であり、式 (7-15) が得られる。

$$sv_1 - sv_2 = \sum \{q_i \cdot (ts_1(a_i) - ts_2(a_i))\} \quad (7-15)$$

式 (7-13) より、式 (7-15) の右辺は正であるから式 (7-16) が成立する。

$$sv_1 - sv_2 > 0 \quad (7-16)$$

従って、式 (2-14) の関係から、式 (7-17) に示す様に高周波数の体積散

乱強度 $S V_1$ も a の組成にかかわらず低周波数の体積散乱強度 $S V_2$ より大きい値を示すことがわかる。

$$S V_1 - S V_2 \geq 0$$

(7-17)

一方、Kristensenモデルでは、図7-2から明らかな様に式(7-13)の関係はすべての a_i においては成立しない。従って、式(7-15)の右辺の符号は q_i の分布型および周波数の組合せにより正負両者の符号を取り得るため、常に式(7-17)の関係は成立しない。

ここで、本研究によって得られた結果を検討する。図7-3は表6-4から計算した周波数による $S V$ の差を示したグラフであり、横軸は表に従うネットサンプル番号、縦軸は $S V$ 差である。図中の各記号は6組の $S V$ 差の内、変動の傾向を見るための代表値としての4組の値であり、●は $\Delta S V_{12}$ 、▲は $\Delta S V_{13}$ 、□は $\Delta S V_{14}$ および■は $\Delta S V_{34}$ を示している。この図から、 $\Delta S V_{12}$ 、 $\Delta S V_{13}$ および $\Delta S V_{14}$ は負の傾向を示すことがわかり、 $\Delta S V_{34}$ は正の傾向を示すことがわかる。この結果は、式(7-17)に示したJohnsonモデルの高周波数の体積散乱強度の方が常に大きな値を示すこととは反し、Johnsonモデルでは説明できない。一方、Kristensenモデルでは体積散乱強度の差が、上記の傾向を示しても矛盾は生じない。さらに、 $\Delta S V_{12}$ 、 $\Delta S V_{13}$ 、 $\Delta S V_{14}$ で1測点であるが符号が正となることおよび $\Delta S V_{34}$ で3測点の符号が負となる様な符号の反転もKristensenモデルからは説明可能であると判断できる。これらの現象は付図(a)～(u)においても示されており、特異な現象ではない。

以上、これらの現象は、非共振であるJohnsonモデルによる4周波数の平均体積散乱強度の相互関係からは説明できず、共振現象が存在する傾向が示され、Kristensenモデルでの説明の可能性が示された。

次に、前述した様に共振には鱈共振と体共振があり、マイクロネクトンを含む散乱層への適用を検討する必要がある。体内に気泡を有する生物、すなわち鱈を有するマイクロネクトンに関しては、鱈がターゲットストレングスに寄与していることは、実験観測によって示されており、Andreeva(1974)は鱈の共振周波数を式(7-5)として示した。式(7-5)に含まれる各パラメータの値はJohnson(1977b)の

計測より、 $\rho a = (1 + 0.103R) \cdot 10^6$ (R は水深 [m])、 $\rho a = 1.026$ 、 $\gamma = 1.4$ および $\mu = 10^6$ である。これらのパラメータ値から算出された共振周波数を式(7-3)に示したWeston(1967)の式に代入し、本研究に使用した4周波数での等価半径 a に対するターゲットストレングスの変化を図7-4に示す。ただし、水深は50mとし、ダンピング定数 $\delta = 0.2$ と仮定した。以上の各パラメータ値は、濱野(1991)によりマイクロネクトンであるキュウリエソ (*Mauroricus muelleri*) の周波数特性の検討に用いられている。

図7-4から、鰾を共振体とすると本研究に使用した周波数では鰾の等価半径が0.3mm程度以下で共振現象が生じることがわかる。従って、図7-3に示した現象を鰾共振であるとする、鰾の等価半径が0.3mm程度以下のマイクロネクトンを起源とした散乱によるものとなる。しかし、Chapman *et al.* (1974)は0.8~25.6kHz帯域での観測において夜間上昇するマイクロネクトンの鰾によって生じる柱状散乱強度の周波数特性による変化は3~5kHz帯域であると報告した。

図7-5は、図7-4と同様に、Andreeva(1974)の共振周波数、Johnson(1977b)のパラメータ値を用い、Weston(1967)の式(7-3)から求めた水深50mにおける3、5、10および38kHzの鰾共振によるターゲットストレングスの変化である。図7-5から、Chapman *et al.*の結果を説明する3~5kHz帯域での夜間変化は、鰾が共振を生じる範囲である等価半径が1.7~2.8mm程度のマイクロネクトンが影響していると判断できる。従って、鰾の等価半径が0.3mm以下のマイクロネクトンの存在を考え、これらが周波数特性に影響を与える状況は海洋現場においては一般的ではないと考える。鰾の等価半径が1.7~2.8mmとすると、本研究に使用した周波数帯域のターゲットストレングスは周波数による差異が認められなくなり、平均体積散乱強度の差異も認められなくなる。従って、本研究で観測した周波数特性はマイクロネクトンも含む体共振によるものと考えることができる。

次に、鰾を有するマイクロネクトンと動物プランクトン(オキアミ)のターゲットストレングスを比較する。マイクロネクトンのターゲットストレングスは、濱野(1991)によると体長40mmのキュウリエソ (*Mauroricus muelleri*)では、ターゲットストレングスが88kHzにおいて、-59.1dBとなる。また、濱野(1991)は、鰾の等価半径は体長との関係で求められることを示し、体長40mmでは2.23mmになる。この等価半径でのターゲットストレングスは本研究に使用した周波数帯域では周波数特

性は認められないため、キュリエソの鰾の散乱を主体に考えると本研究に使用した周波数においても-59dBと計測されることが予測できる。

一方、動物プランクトンに関しては、Kristensen and Dalen(1986)が体長40mmのオキアミを30~1000kHzで計測した結果を示し、本研究の周波数帯域では-60~-70dBとなり、50kHzで共振の結果と考えられる約-60dBの値が計測されたことを示した。従って、同一体長(体積は体型からキュリエソの方が大であると予測できる)のマイクロネクトンの鰾と体共振した動物プランクトンとのターゲットストレングスの差は1dB程度である。このことは、マイクロネクトン(魚体全体)の散乱を体共振の観点からも同一オーダーとして検討できることを示しており、本研究に使用した周波数で体共振としての周波数特性を計測できると考える。従って、本研究の周波数では、マイクロネクトンの散乱を体共振の観点から捉え動物プランクトンと同等に扱うこととした。すなわち、散乱層を構成するマイクロネクトンおよび動物プランクトンは体共振モデルが適用できると判断し、散乱層からの散乱モデルとしてKristensenモデルを採用する。

7. 4 論議

動物プランクトンの散乱様式は、一般的には非共振散乱体として扱われてきた(Beamish 1971, Johnson 1977a, Greenlaw 1979, etc.)。しかし、高周波数帯域まで利用した多周波数での研究がはじまり、動物プランクトンからの散乱計測により非共振散乱とは矛盾する結果が報告された(Holliday and Pieper 1980, Kristensen and Dalen 1986)。

本研究においては、散乱層を構成する生物(動物プランクトン、マイクロネクトン)の散乱様式を判定するため、非共振散乱および共振散乱モデルを導入し、観測結果との比較から散乱層を構成する生物の散乱様式を検討した。散乱様式の判定には非共振モデルとしてJohnsonモデル、共振モデルとしてKristensenモデルを検討した。両モデルは、単体散乱因子(生物個体)のターゲットストレングスを表わす式であり、散乱層計測から得られる体積散乱強度との直接比較はできない。しかし、両モデルの特徴が様々な大きさ(等価半径)の生物で構成される散乱層の体積散乱強度にも現われることを利用することにより判定が可能であると考え、周波数によ

る体積散乱強度の差から散乱様式の判定を行った。

本研究の計測結果から、散乱層構成生物の散乱様式は Johnsonモデルとは矛盾することが示され、Kristensenモデルでの説明の可能性を示すことができたと考える。

散乱層を構成する生物の個々について散乱様式を言及することはできないが、Kristensen and Dalen(1986)は30~1000kHzでのオキアミ計測から共振周波数の存在を報告しており、共振モデルを散乱層計測に適用する妥当性があると考えられる。

次に、マイクロネクトンの鱗共振との関連であるが、古沢(1990)は鱗を有する魚類のターゲットストレングスは鱗からの散乱を主体として考えることができると報告しており、検討を行った。濱野(1991)による、体長40mmのキュウリエソ (*Mauroricus muelleri*)の88kHzでのターゲットストレングスと Kristensen and Dalen(1986)による体長40mmのオキアミの30~1000kHzでのターゲットストレングスの比較から、両ターゲットストレングスは同一オーダーとして取り扱えることを示した。このことから、マイクロネクトンのターゲットストレングスも魚体全体を考えた体共振現象により周波数の影響を受けると判断した。

以上のことから、本研究では動物プランクトンおよびマイクロネクトンは共に体共振現象として扱えると判断し、散乱層に適用できる散乱モデルとして体共振モデルであるKristensenモデルを選択した。ただし、アジ、サバ等の鱗を有するネクトンに関しては鱗からの散乱がターゲットストレングスの主体であるとする研究が多く、本研究と同等の取り扱いはできないと考える。

第 8 章 生物サイズの推定および生物量の推定

8. 1 緒言

第 7 章では、散乱層構成生物の散乱様式は生物個体の散乱モデルと実測した体積散乱強度データとの比較から、体共振散乱であることを明らかにした。

本章では、はじめに第 6 章で示した 4 周波数による 27 測点での平均体積散乱強度データを基に第 7 章で選択した体共振モデルを用いて C_r の取り扱い方法について検討を行い、生物サイズを推定する手法を考察し、生物サイズの推定を行う。

次に、変数とした C_r を計測した 4 周波数の平均体積散乱強度の補正值とし、実測値およびモデルを統合した生物量の推定方法を論議する。

さらに、生物サイズの推定結果と採集した生物のサイズとの比較を行うために採集生物の分別方法を検討し、分別する。

最後に、以上の検討および解析結果から本研究における生物サイズの推定および生物量の推定手法の妥当性を論議する。

本章では、3. 1 で実施した音響計測を基に解析した第 6 章の結果および採集生物サンプルを使用した。

8. 2 生物サイズ推定方法の検討および結果

8. 2. 1. 変数 C_r

第 6 章で論議した様に、本章では C_r を変数として扱い、異なる散乱層においては $T S_r$ および v は異なる値として扱う。従って、式 (7-11) を変数 C_r として再定義する。

変数 C_r は、

$$C_r = T S_r - 10 \log v \quad (8-1)$$

である。

ここで、ある散乱層の構成生物は均一であるとし、ターゲットストレングスを $T S_i$ 、体積を v として考える。この時の C_i を C_i' とすると、式 (8-2) となる。

$$C_i' = T S_i - 10 \log v \quad (8-2)$$

v は等価半径 a の球体であるから、球の体積となり、式 (8-3) である。

$$v = 4\pi \cdot a^3 / 3 \quad (8-3)$$

従って、式 (8-2) に式 (8-10) および式 (8-3) を代入し、式 (8-4) となる。

$$C_i' = 10 \log [d_i \cdot B \cdot a^2 \cdot \pi^{-1} [\{ (c / 4\pi a f)^2 - 1 \}^2 + \delta^2]^{-1} \cdot (4\pi \cdot a^3 / 3)^{-1}] \quad (8-4)$$

図 8-1 は式 (8-4) によって求めた 4 周波数による C_i' の a による変動を示している。ただし、 $\delta = 0.5$ とし、 $d_i = 1.0$ である。 B の値を決める g および h は Greenlaw (1976) によるオキアミ (*Euphausia pacifica*) の計測結果から $g = 1.06$ および $h = 1.03$ とした。音速は $C = 1540$ [m/s] とした。これら 4 周波数での C_i' の変化は、周波数により異なった変化をすることが示された。

様々なサイズの分布から得られる C_i は、 a のサイズ分布から以下の様に求めることができる。等価半径が a_i である時の C_i' を C_{i1}' とし、頻度割合を q_i とする。ここで頻度区分を n とすると、

$$C_i = 10 \log [\sum (q_i \cdot 10^{C_{i1}' / 10})] \quad (8-5)$$

として求めることができる。ただし、

$$\sum q_i = 1 \quad (8-6)$$

である。すなわち、 g および h を定数と考えれば、 q_i がわかることによって C_i を求めることができる。

8. 2. 2 生物サイズの推定方法

多周波数を用いた生物サイズ分布の推定手法に関しては、Greenlaw(1979), Greenlaw and Johnson(1983) および Kristensen and Dalen(1986)が方法論を展開し、実測データを基に推定を行った。これらの手法は、式の記述は異なるが基本的には同一手法であり、基本的な考え方は以下の通りである。ただし、Greenlaw(1979)は生物個体の散乱モデルとして非共振モデルを使用し、Kristensen and Dalen(1986)は共振モデルを使用した。

周波数 f_i ($i=1, 2, \dots, I$) において散乱層から計測された体積散乱係数を $s_v(f_i)$ とし、サイズ(等価半径) a_j ($j=1, 2, \dots, J$) 区分における個体数の総個体数に対する割合を q_j および周波数 f_i でかつサイズ a_j 区分での単体散乱係数を $t_s(f_i, a_j)$ とすると、式(2-34)より、式(8-7)が成立する。

$$s_v(f_i) = \sum [q_j \cdot t_s(f_i, a_j)] \cdot N \quad (8-7)$$

$t_s(f_i, a_j)$ は、個体の散乱モデルから求められる定数となるから、各サイズにおける個体数 $q_j \cdot N$ が未知数となる。式(8-7)の関係は、周波数の数である I 行の方程式が得られ、未知数はサイズの区分数 J 個となる。

これらの式の解析は、 $0 \leq q_j(a_j) \leq 1$ および $\sum q_j = 1$ の条件下において最小2乗法(non-negative, least squares)等によって行われる(Greenlaw and Johnson 1983)。Kristensen and Dalen(1986)は、このような基本的考えに基づき30~1000kHz間の14周波数を用いた計測結果からサイズの異なる2種のオキアミが卓越した散乱層の解析を行い、採集結果に非常に良く一致したサイズ分布が得られたことを報告したが、解析の詳細は記されていない。

本研究も多周波数によるサイズ分布の推定を目指すものであり、同一手法を用いた解析が考えられるが、本研究で使用した周波数は4周波数であり、Kristensen and Dalen(1986)が使用した14周波数に比して情報量は少なく、同一精度の結果

は望めないと考えた。また、本研究は広い海域を短期間でかつ連続的に計測することが目的の1つであるため、Kristensen and Dalen(1986)の計測の様に多数の送受波器を目標散乱層近傍まで垂下する方法では目的を達することができない。

さらに、送受波器は船底装備を条件としているため、設置できる送受波器(周波数)の数は限度があり、本研究では使用した4周波数の範囲を越えた論理の拡張は考えないこととした。

また、構成生物のサイズ分布がわかれば変数 C_T が求められることを理論展開したが、多種多様な生物体内の密度比 g および音速比 h を一定と仮定したものであり、体長変化に伴う g および h の変化(Kristensen and Dalen 1986)を考えないモデルの適用である。従って、本章では上記理由および海洋現場での即応性を考え計算に要する時間の短縮を考慮し、周波数帯域を広げることも周波数を増やすことも考えないため、サイズ分布の詳細を解析せずにサイズ分布の傾向を調べるにとどめた。

サイズ分布の傾向を解析する手法は以下に述べるが、この手法は海域および水深により生物のサイズが、あるサイズで支配されていると仮定した手法である。従って、得られる答えは存在する生物のサイズ分布ではなく支配(dominant)的なサイズである。本研究で採用したTSモデルは式(7-10)および式(7-11)から以下の式である。

$$TS_T = 10 \log [d_T \cdot B \cdot a^2 \cdot \pi^{-1} \cdot \{ (c / 4\pi a f)^2 - 1 \}^2 + \delta^2]^{-1} \quad (8-8)$$

この式を用いて得られた、等価半径 a の均一生物からなる変数 C_T' がすでに示した式(8-4)である。従って、変数 C_T は平均値として式(8-9)で示すことができる。

$$C_T = 10 \log [d_T \cdot B \cdot a^2 \cdot \pi^{-1} \cdot \{ \{ (c / 4\pi a f)^2 - 1 \}^2 + \delta^2 \}^{-1} \cdot (4\pi \cdot a^3 / 3)^{-1}] \quad (8-9)$$

式(8-4)で示した C_T' の等価半径 a による変化は、図8-1から判断できる様に散乱層構成生物のサイズ分布に支配的な偏りがあると考えると、支配されたサ

イズでの各周波数の特徴が検緒に現われると考えた。すなわち、周波数による平均体積散乱強度の差に、その特徴が現われると考えた。

ここで、2つの周波数を考え、それぞれの周波数で計測された平均体積散乱強度を SV_1 および SV_2 とすると、

$$SV_1 = B I O + T S_1 - 10 \log v \quad (8-10)$$

$$SV_2 = B I O + T S_2 - 10 \log v \quad (8-11)$$

であり、 SV_1 と SV_2 との差を ΔSV_{12} とすると、

$$\Delta SV_{12} = T S_1 - T S_2 \quad (8-12)$$

となる。

式(8-8)より、 B およびそれぞれの周波数の d_1 である d_1 、 d_2 は定数であるから、式(8-12)は、式(8-13)となる。

$$\begin{aligned} \Delta SV_{12} = & 10 \log [a^2 [\{ (c/4\pi a f_1)^2 - 1 \}^2 + \delta^2]^{-1}] \\ & - 10 \log [a^2 [\{ (c/4\pi a f_2)^2 - 1 \}^2 + \delta^2]^{-1}] \\ & + 10 \log (d_{12}) \end{aligned} \quad (8-13)$$

ただし、 $d_{12} = d_1 / d_2$

すなわち、実際の散乱層における平均体積散乱強度の差は定数項 B を除いた形となる。

次に、式(8-13)の結果として求まる、実測値の SV 差と計算値の比較を考える。モデルからの計算は、等価半径 a が均一であるとした時の SV 差を考えた。この時の SV 差を f_{12} とすると、式(8-14)が成立する。

$$f_{12} = 10 \log \left[\frac{[\{ (c/4\pi a f_2)^2 - 1 \}^2 + \delta^2]}{[\{ (c/4\pi a f_1)^2 - 1 \}^2 + \delta^2]} + 10 \log(d_{12}) \right] \quad (8-14)$$

ここで、式(8-14)において a を変化させ、実際の計測による $\Delta S V_{12}$ と比較し、両者の差が最も小さい時の a を支配的なサイズ分布を代表する等価半径 a であると考えた。尚、指向性によるターゲットストレングスの減衰係数は未知な定数であるため、便宜上 $d_{12}=1.0$ とした。

実際の計測による $S V$ 差は、第7章で述べた通り6組ある。モデルにおいても6組の差をもとめた。

$$f_{12, a_i} = S V_{200, a_i} - S V_{120, a_i} \quad (8-15)$$

$$f_{13, a_i} = S V_{200, a_i} - S V_{50, a_i} \quad (8-16)$$

$$f_{14, a_i} = S V_{200, a_i} - S V_{20, a_i} \quad (8-17)$$

$$f_{23, a_i} = S V_{120, a_i} - S V_{50, a_i} \quad (8-18)$$

$$f_{24, a_i} = S V_{120, a_i} - S V_{20, a_i} \quad (8-19)$$

$$f_{34, a_i} = S V_{50, a_i} - S V_{20, a_i} \quad (8-20)$$

ここで、 a_i は等価半径が a_i であることを示している。

次に、実際の計測による $S V$ 差である $\Delta S V_{12}$ 、 $\Delta S V_{13}$ 、 $\Delta S V_{14}$ 、 $\Delta S V_{23}$ 、 $\Delta S V_{24}$ および $\Delta S V_{34}$ との比較を考え、最小2乗法によって適合する a_i を以下の様に求めた。

$$\begin{aligned} D S V_{12, a_i} &= (\Delta S V_{12} - f_{12, a_i})^2 \\ &\cdot \\ D S V_{34, a_i} &= (\Delta S V_{34} - f_{34, a_i})^2 \end{aligned} \quad (8-21)$$

ここで、

$$DSV_{ai} = DSV_{10,ai} + DSV_{13,ai} + DSV_{14,ai} + DSV_{22,ai} \\ + DSV_{24,ai} + DSV_{24,ai} \quad (8-22)$$

として求まる DSV_{ai} が最も小さくなる時の値を DSV_{amin} とし、その時の a_i を生物の支配的なサイズ a_{ain} とした。本研究ではこの方法を「最小2乗推定法」と言う。

しかし、最小2乗推定法では第7章のモデルの選択で述べたSV差の符号が正か負か判断できないため、モデルと計測値の符号が一致するかどうかを調べ、またSV差の程度を調べるために、SV差が最も大きい正の値から最も小さい負の値まで不等号により序列をつけ、適合を調べた。本研究ではこの方法を「序列適合法」と言う。

以上の2つの手法により推定された等価半径 a の代表値は式(8-4)に代入され、ここで求まる C_i' を式(8-9)の C_i として扱った。

8. 2. 3 モデルの係数の取り扱いについて

本研究においては、ここまで共振モデルにおける指向性による減衰定数 d_i は1.0とし、係数である密度比 g 、音速比 h は定数として扱ってきた。また、共振周波数 f_0 およびダンピング定数 δ は Kristensen and Dalen(1986)に従い、それぞれ $c/4\pi a$ および0.5と仮定した。

指向性による減衰定数に関しては、Kristensen and Dalen(1986)が周波数315、80および40kHzにより、体長43mmのオキアミについて計測を行っている。本研究での周波数は38、50、120および200kHzであり、200kHzを除く3周波数は Kristensen and Dalen(1986)の40および80kHzの結果が参照できると考える。200kHzは80kHzと315kHzのちょうど中間の周波数であり、両周波数の中間傾向であると考えられるが、本研究では、40および80kHzで得られた5~10dBの減衰を参照とし8dBの減衰があるものとして扱うこととした。従って、減衰定数は4周波数同値とし、 $10 \log(d_i) = -8$ とした。すなわち、式(8-13)および(8-14)の減衰定数を含む項は、

$$10 \log (d_1 / d_2) = 0$$

(8-23)

である。

次に、共振周波数およびダンピング定数に関しては、以下に示した方法によってモデルに適した値を検討し、決定した。図8-2は、50kHzを例としたダンピング定数の値を変えたときの a に対する平均体積散乱強度の変化を示したものである。この図に示された様にダンピング定数が大きくなるほどTSの極大値である共振点でのTSは小さくなり、この現象はSV差にも現われる。図8-3は50kHzと38kHzのTS差を $\delta = 0.5$ と 0.38 について示したもので、図中の極大および極小部である両周波数の共振点近傍でTS差の絶対値はダンピング定数が大きい方が小さくなり、SV差を論じる上ではダンピング定数の値を考慮しなければならないことを示している。そこで、ダンピング定数の評価は、最小2乗推定法を用いて27個の計測データから求めた DSV_{amin} の和が最も小さくなるときの δ を最適な値として用いることとした。図8-4は、横軸を δ 、縦軸を DSV_{amin} の和としたものである。図中の3本の曲線は共振周波数 f_0 を $k \cdot a = 0.4$ 、 0.5 および 0.6 とした時の変化を示している。この図より、共振周波数により値は変化するが $\delta = 0.38$ において DSV_{amin} の和が最も小さくなることがわかった。

次に、共振周波数による DSV_{amin} の変化について検討する。ダンピング定数に関しては $\delta = 0.38$ で DSV_{amin} が最も小さくなることがわかったので、 $\delta = 0.38$ として共振周波数 f_0 が $k \cdot a = 0.3 \sim 0.9$ として DSV_{amin} の変化を調べた。図8-5が結果であり、 $k \cdot a = 0.5$ で極小を示すことがわかった。

以上の結果から、本研究では以後ダンピング定数は $\delta = 0.38$ を採用し、共振周波数はKristensen and Dalen (1986) が示した $k \cdot a = 0.5$ の時の $f_0 = c / (4\pi \cdot a)$ を継続して採用する。

ここで、音速 c もモデルに含まれる係数であるが、本研究における計測海域での150m水深までの音速の変動は1510~1540m/sであり、共振のピークとなる等価半径の変化は38kHzで最大となるが、この変化幅は0.06mmであり、無視できると考え、本研究においては共振モデル式に代入する音速は一定とし、1540m/sを採用した。

8. 2. 4 モデルによるSV差の序列

前段で決定したダンピング定数および共振周波数を式(8-14)に代入し等価半径 a を $1 \times 10^{-4} \sim 5 \times 10^{-2} \text{m}$ まで変化させて求めたSV差の変化を図8-6に示した。6組のSV差は、それぞれ等価半径 a により特徴を示すことがわかる。尚、等価半径 $a > 5 \times 10^{-2}$ においては図8-6の変動傾向からわかるように6本の線は負側から0に漸近する。モデルによるSV差の序列は $1 \times 10^{-4} \text{m}$ 単位、すなわち 0.1mm 間隔で、 $1 \times 10^{-2} \text{m}$ まで求めた。表8-1は、 a の値によって決まるSV差の序列である。表の第2列に示したランク1~100の数値は等価半径 a の変化に対応する数値で1は 0.1mm 、100は 10.0mm に相当する。以後、この1~100の数値をサイズランクと言う。また、同一序列を示すランク範囲をまとめたものを表の第1列に示したクラスと言う。尚、クラス11とクラス13とはSV差序列は同一なものとなる。

8. 2. 5 計測データのサイズランク

計測データのサイズランク決定は、パーソナルコンピュータにより自動的に決定できる様、BASIC言語によるプログラムを作成した。図8-7にサイズランクを決定するためのフローチャートを示した。

- ① 4周波数から得た散乱層の平均体積散乱強度を入力する。
- ② 6通りのSV差を求め、SV差の序列を作る。
- ③ 「序列適合法」により、計算値より求めたSV差序列表(表8-1)と比較し適合するクラスを探す。適合した場合は(A)へ分岐し、不適合の場合は(B)へ分岐する。

(A) - ①

適合したクラスに属するサイズランク範囲をを出力する。

(A) - ②

「最小2乗推定法」によりサイズランクを求める。

(A) - ③

両手法のサイズランクが一致した場合は「最小2乗推定法」で得たサイズラン

クを出力し、◎を共に出力する。・・・「推定段階1」
両手法のサイズランクが一致しない場合は、(B)-②へ分岐する。

(B)-①

「最小2乗推定法」によりサイズランクを求め、出力する。

(B)-②

「最小2乗推定法」により決まったサイズランクに対応するモデルのSV差序列表(表8-1)のサイズランクにおける SV_{50} と SV_{38} との差であるf34の符号を調べる。この符号と計測値の差である $\Delta 34$ の符号を比較する。

(B)-③

f34と $\Delta 34$ の符号が一致した場合は、△を出力する。・・・「推定段階2」
符号が不一致の場合は、×を出力し、(C)へ分岐する。

(C)-①

計測値の50kHzと38kHzとのSV差である $\Delta 34$ の符号とモデルのSV差であるf34の符号が一致するサイズランク範囲をSV差序列表(表8-1)から探す。

(C)-②

(C)-①で限定したサイズランク範囲の中で、再度「最小2乗推定法」によりサイズランクを求め、出力する。・・・「推定段階3」

以上の様な3つの推定段階を考え、計測データのサイズランクを求めた。

「推定段階1」は、8. 2. 2で記したふたつの推定法を満足する結果である。

「推定段階2」は、「最小2乗推定法」に重きを置き、SV差序列が適合した場合においても特定のSV差の符号判定を満足した「最小2乗推定法」のサイズランクを推定サイズランクとする。

「推定段階3」は、限定したサイズランク範囲での「最小2乗推定法」の適用である。

尚、「推定段階2および3」を導入したのは、以下の理由による。

実際の散乱層が様々な生物で構成されると、SV差の序列は様々なランクにおけ

る序列に影響されモデルの様に明確な序列とはならずSV差の値が近いところでは序列の逆転が生じることが考えられた。このことから「最小2乗推定法」を優先した。ただし、SV差の符号は重要な情報であり、50kHzと38kHzのSV差を代表として用いた。50kHzと38kHzのSV差は、図8-6から等価半径が2.8mm程度で正から負に符号が変化しサイズランクの符号による大小判別に適しており、計測水深による定常ノイズの影響が小さく、誤差の影響が少ないと判断し、代表とした。

表8-2は、以上の流れに従って得た27計測点における支配的なサイズランクである。表は、左から測点名、序列適合法によるランク、最小2乗推定法によるランクであり、次の○、△および×はフローチャートに示した推定段階を示している。表の右端が最終的に決められたサイズランクである。×の場合は、再計算したサイズランクが別途出力される。

以上の結果、表8-2に示した様に27データ中17例が両手法に適合し、序列は多少ことなりモデル序列とは一致しないが、SV差符号が一致したものが9例であった。また、再計算は1例であった。

8. 3 生物量の推定方法および結果

8. 3. 1 変数 C_{ra} およびパラメータ値

8. 2において各測点の支配的サイズランクを求めた。本研究では、この支配的サイズランク（等価半径に置換して）を計測した散乱層を構成する生物のサイズとする。決められたサイズは変数 C_r' を求めるための式(8-4)に代入し、得られた値を平均体積散乱強度の補正值 C_r とし、 C_{ra} と記す。尚、 C_r' を求めるために必要な B を決めるための g および h に関しては計測していないので、Greenlaw (1979) が23mmのオキアミから求めた $g = 1.063$ および $h = 1.033$ を選択し、 $g = 1.06$ および $h = 1.03$ とした。

8. 3. 2 変数 C_{ra} による補正

平均体積散乱強度 SV_r と対数生物量 BIO との関係は、第7章において回帰直

線および理想仮定直線として求めた。これら2種の直線は、本研究で得た実測データの範囲では有効な式として扱えることを述べたが、滝口ら(1988)の結果を総合して考察すると、一般式としての使用には問題があることが明らかである。

そこで、生物サイズによって決まる変数 C_f の存在を明らかにし、この値によって計測した平均体積散乱強度 SV_f の補正を検討した。

本研究では、補正值である変数 C_f を支配的サイズランクから計算される C_{f0} として決め、補正值とした。

表8-3は、各測点における平均体積散乱強度 SV_f (表6-4)に対する C_{f0} および補正した補正平均体積散乱強度 CSV_f である。

CSV_f は、

$$CSV_f = SV_f - C_{f0} \quad (8-24)$$

である。尚、この CSV_f は第6章で得た平均体積散乱強度と対数生物量の関係と比較する上で補正平均体積散乱強度と表記するが、後段で論議する本研究の結果として計算から求まる計算対数生物量である。

ここで、補正平均体積散乱強度 CSV_f と BIO の関係は、回帰分析から、4周波数に対して以下の回帰式と相関係数が得られた(図8-8)。

$$CSV_{200} = 0.98 \cdot BIO - 3.69 \quad (8-25)$$

$$r_{200} = 0.81$$

$$CSV_{120} = 0.95 \cdot BIO - 4.26 \quad (8-26)$$

$$r_{120} = 0.81$$

$$CSV_{50} = 0.86 \cdot BIO - 12.47 \quad (8-27)$$

$$r_{50} = 0.71$$

$$CSV_{30} = 0.91 \cdot BIO - 7.95 \quad (8-28)$$

$$r_{30} = 0.79$$

これら4つの回帰直線は回帰係数が1に近い回帰式として求められ、これら4つの回帰に関して、統計量の有意性検定および信頼限界を求めた。回帰係数の有意性検定においては、有意水準0.001においてすべて有意であった。また、回帰係数の95%信頼限界(表8-4)から、理論的な回帰係数1は、95%信頼限界内にあり、任意の組合せによるふたつの回帰係数には有意水準0.05で有意な差はない。従って、回帰係数を1とした一次式を最小2乗法によって求め、これらの式を以下に示し、図8-9に示す。

$$C S V_{200} = B I O - 2.2 \quad (8-29)$$

$$C S V_{120} = B I O - 1.0 \quad (8-30)$$

$$C S V_{50} = B I O - 2.5 \quad (8-31)$$

$$C S V_{30} = B I O - 1.7 \quad (8-32)$$

ここで、第7章で得た回帰式(式(6-6)~式(6-9))および最小2乗法で得た1次式(式(6-13)~式(6-16))をそれぞれ回帰線および理想線とし、補正後に得た回帰式(式(8-19)~式(8-22))および最小2乗法で得た1次式(式(8-23)~式(8-26))を補正回帰線および補正理想線と言う。

各々の周波数で対応する回帰式と補正回帰式のふたつの回帰係数の比較検定は有意水準0.05ですべて有意とはならず、回帰係数は同等として扱える。しかし、補正の効果によって、対応する常数項の比較検定では有意水準0.05ですべて有意となった。補正回帰線相互の関係は、任意のふたつの回帰係数および常数項の比較検定では、すべての回帰係数および常数項の関係において有意水準0.05で有意ではなく、回帰係数を1とした同一の常数項として扱えることが示された。

8. 4 採集生物の分別方法の検討および結果

8. 4. 1 分別方法の検討

本研究で採集した生物サンプルは49サンプルであった。この内、ネット曳網の安定性から判断し27サンプルを同時計測した4周波数の平均体積散乱強度と比較した。これらサンプルの分別を行い、本研究のサイズ推定結果との比較からサイズ推定方法の評価を行わなければならないが、サンプルは多量であり、また詳細に渡る正確な分別および正確な分類を行うには優れた生物学的知識が必要となる。従って、音響データとの比較が可能と考えられる簡便な分別方法を検討した。

まず、本研究の第7章以降の議論は生物の種を考慮しない等価半径 a を中心とした議論である。さらに、前節で記した様に本研究の生物サイズ（等価半径）推定は詳細なサイズ分布推定ではなくサイズの支配的な傾向である。従って、現段階での生物の分別は種レベルまでの詳細な分類は必要ではないと考え、生物的な分類をあまり考慮しない簡便な分別とした。

次に、簡便に分別を行うに当り、どの程度のサイズまで分別が必要なのかを音響データの解析結果から検討した。図7-3で示した計測値による各測点でのSV差からは、50と38kHzの関係でのみ50kHzの方が大きい、他の組合せでは低周波数の方がSVは大きい結果が得られた。この現象は、図8-6から判断すると $a < 3 \times 10^{-3}$ である。また、 SV_{10} および SV_{15} はともに負であり、 $a > 2 \times 10^{-3}$ であると判断できる。すなわち、等価半径として2mm~3mm程度の生物が主体となっているものと判断でき、またサイズランクの推定結果からランクは20以上の傾向を示した。

体長と等価半径の関係については、Greenlaw(1977)がオキアミの体長TL [mm]と等価半径 a [mm] の関係を以下の式で表わした。

$$\bar{a} = 0.095 + 0.134 \cdot TL \quad (8-33)$$

この式から、 $TL = 10 \sim 15$ mmで等価半径は1.44~2.11mmとなる。従って、本研究では、最大体長が数mmオーダーであるコペポダ等の小型甲殻類に関しては等価半径

は1mm以下となると判断し分別は行わず「③その他」とした。

また、ゼラチン質の生物（クラゲ類、ヤムシ類等）は破損状態のものが多く最大体長が10mmより大であっても、次に示す「③その他」として分別を行わなかった。

8. 4. 2 採集生物およびサイズ組成

採集生物の分別は第7章で用いた27サンプル中保存状態が良好と判断される20サンプルを対象とした。時刻、位置等は、表3-1(a)および(b)にまとめられている。

生物組成については、以下の6組の分類群として分別した。

①魚類

(a) 魚類大（体長10mm以上）

(b) 魚類小（体長10mm以下）

②甲殻類

(a) オキアミ型大（体長10mm以上）

(b) オキアミ型小（体長5mm以上、10mm以下）

(c) その他甲殻類大（体長5mm以上）

③その他

コペポーダ等の小型甲殻類、クラゲおよびヤムシ類等

①および②-(a)、(c)に関しては、サンプルから全個体を分別した。②-(b)に関しては、サンプルを生物量に応じて分割し、体長5mm以上、10mm以下のものを抜き出した。

尚、上記分類は生物学的な形態分類に従ったものではなく、概略形態から判断したものである。

8. 4. 3 分類群別の生物量およびサイズ

分類群別の生物量は排斥水量 (displacement volume) を計測し、本研究で用いた生物量である沈澱生物量 (settling volume) に換算した。排斥水量と沈澱量との関係は Beers (1976) によると、構成生物によって異なるが沈澱量は排斥水量の 1.2 ~ 9.6 倍である。本研究では分別後の「③その他」の生物を用い両者の関係を求めた。20 サンプルの計測から沈澱量は排斥水量の 5.55 ± 0.68 倍と言う結果が得られた。他の分類群では沈澱量を計測する際、個体間に明らかな空隙が生じ比較が不可能であると判断できた。本研究では、分別した生物の排斥水量を 5.55 倍した値を沈澱量として用いた。

また、「③その他」を除く分類群の生物に関しては、魚類大、オキアミ型大および「その他甲殻類大」については、体長を計測すると共に排斥水量をその個体数で除した値を 1 個体当りの平均体積とし、この体積を球体としたときの半径を求め等価半径とした (表 8-5 (a) ~ (c))。魚類小、オキアミ型小については、排斥水量をその個体数で除した値を 1 個体当りの平均体積とし等価半径を求め、表 8-6 にサイズランクとして示す。

表 8-6 は、推定サイズランク順に並べた各分類群ごとの占有沈澱量割合 (単位 [%]) およびサイズランクに換算した等価半径である。ただし、魚類小およびオキアミ型小に関しては、サイズランク 10 以下 (等価半径 1.0mm 以下) は 10 以下 (<10) として処理した。表中の占有率は全沈澱量に対する各分類群の沈澱量率である。

8. 5 推定サイズランクと実測生物サイズの検討および結果

表 8-7 は、表 8-6 から生物分類群を無視し、縦列に推定サイズランク順の測点を記し、横行は、算出した等価半径をサイズランクに換算し、5 ランクごとの占有沈澱量割合 (単位 [%]) として表記したものである。ただし、サイズランク 10 以下はひとまとめにした。表中の占有沈澱量割合は「③その他」を除いた割合で示した。

本研究において分別した生物は魚類、オキアミ型および大型甲殻類である。これら生物は「③その他」に分別したコペポダ、クラゲ類、ヤムシ類等に比し遊泳力

は大であると判断できる。

ネット採集の生物組成と実際の実存生物組成との関係は6.4の論議で触れたが、生物の遊泳速度と曳網速度およびネット開口面積との関係、さらには昼夜によるネットの生物の視覚に対する影響等によるネットアボイダンスがあることがわかっている(Clutter and Anraku 1968)。このことから、表8-6に示した各分類群の占有沈澱量割合は実際に分布する生物の占有率を反映していないと判断できる。特に、「③その他」は遊泳力が小さいため占有率が大となる傾向が示されたと考える。従って、推定サイズランクと採集生物サイズとの比較においては「③その他」を除外した占有率での傾向比較とした。

図8-10は、表8-7から得た各ネットでの積算占有率である。横軸に示した「A」～「G」は、以下に示す積算占有率である。本研究は、支配的な生物サイズを仮定した手法であり、各サイズランク範囲の占有割合の頻度分布を採集生物から示す必要があるが、前述した様に大型生物ほどネットアボイダンスが大であると推定され、サイズランク範囲ごとの頻度分布では支配的なサイズを示すことはできないと判断しサイズ傾向として積算占有率を用いた。

「A」：全サイズランクの積算占有率（100%）

「B」：サイズランク11以上の積算占有率

「C」：サイズランク16以上の積算占有率

「D」：サイズランク21以上の積算占有率

「E」：サイズランク26以上の積算占有率

「F」：サイズランク31以上の積算占有率

「G」：サイズランク36以上の積算占有率

バーは表8-7に計測値が存在する箇所での積算であるため空白がある。折れ線が積算占有率の変化傾向を示しており、点線は積算占有率40%を示している。尚、グラフは、表8-7に従い推定サイズランクが大きい順に記してある。

推定サイズランクが1位である13Ndは「D」で40%以上を示し、「G」で18.8%と比較的大型サイズの生物が存在すると判断できる。2位の14Ndは「E」で40%を越え、比較的大型サイズの生物が存在すると判断できる。

一方、18、19および20位の下位である19Ds、8Ndおよび21DSは「B」までの出現であり、比較的小型サイズの生物が存在すると判断できる。

上記以外のものは3位の20Ddと推定サイズランク27の9Dsは、比較的小型サイズの傾向を示したが、他の推定サイズランクが26および27のものは大型と小型の中間傾向を示していると判断できる。6Nsは、「D」で40%を超えるが「F」以上での出現はなく13Ndおよび14Ndの大型傾向とは異なる。6Nd、14Ns、3Nd、7Ndおよび8Nsで「G」が存在するが、40%を超えるのは「C」以下である。

本研究における推定サイズランクは20サンプル中14サンプルで26および27に集中した。従って、推定サイズランクと実際の生物サイズとの関係を詳細には分析できず、大型サイズ傾向、小型サイズ傾向およびこれらの中間的サイズ傾向の3区分とした。

この様な傾向比較においては、20Ddおよび9Dsを除けば3区分に対応した結果が得られたと考える。

以上の結果から、体共振モデルおよびモデルからの推定手法とした「序列適合法」・「最小2乗推定法」の妥当性が示されたと考える。

8. 6 変数C_{rn}補正と計算生物量の検討および結果

回帰線および補正回帰線は、4周波数ともに回帰係数は1に近く音響理論から検討した回帰係数1の理想直線によく一致した傾向を示した。第6章の論議においては、回帰線が回帰係数1と良く一致するが相関係数が低いのは散乱層を構成する生物のサイズにより周波数特性があることを理由とした。このことから、周波数特性を考慮した平均体積散乱強度の補正をすることで解決できることを予測したが、補正回帰線の相関係数は回帰線の相関係数に比して大きくならなかった。この原因として考えられることは、推定サイズランクが26および27に集中し、補正值の値が各周波数において全体に対する一定のバイアスとして作用したからであると考えられる。従って、第6章の論議に引用した滝口ら(1988)の結果の様に散乱層を構成する生物のサイズが異なると考えられた計測点を選択し回帰線と補正回帰線との比較を行った。

選択した計測点は、比較的大型生物としてランク45と推定した測点13Ndとランク29の測点21Dsおよび小型生物としてランク23、24と推定した測点8Ndおよび21Ns（表8-2参照）の4測点である。これら4測点を用いた4周波数の回帰線および補正回帰線を相関係数と共に表8-8に示した。この表から、4周波数の回帰線は特に低周波数（50および38kHz）において回帰係数が大きく、50kHzの相関係数は0.72と低かった。一方、補正回帰線は、高周波数での回帰係数は補正前と変化なく、1に近い値であり、相関係数もあまり変化がなかった。低周波数では、補正の効果がはっきり現れ、50kHzでは回帰係数が1.17から0.96と改善され、相関係数も0.72から0.92と良くなった。また、38kHzでは、相関係数には変化が無いものの、回帰係数は1.81から0.87と改善された。このことから、全データではランク26および27と推定した中間型サイズの測点が多く、大型および小型の測点が少なかったため補正による改善効果がはっきりと示されなかったが、サイズの差がある場合には充分補正できることが示された。

次に、補正平均体積散乱強度 CSV_i は、式(8-24)に示した様に計測した平均体積散乱強度 SV_i および支配的サイズランクから得た C_{r0} により求めることができる。本研究では変数 C_i と C_{r0} を同等として扱い、

$$C_{r0} = C_i \quad (8-34)$$

であるから、個々の計測点における常数項として式(6-12)および式(8-24)から式(8-35)の関係が成立する。

$$BIO = CSV_i \quad (8-35)$$

従って、周波数に関係なく対数生物量と補正平均体積散乱強度は同値となる。すなわち、対数生物量と同値となる計測値とサイズから計算される計算対数生物量である。本研究の結果からは式(8-35)は成立せず常数項の存在が認められた。以下、常数項について考察する。

補正前の理想線は、周波数によって右辺の常数項は200kHzで-4.6と最も小さく、50kHzで3.5と最も大きい。その差は8.1dBあり、平均は-0.875dBで標準偏差は3.07

dBであった。一方、補正後の補正理想線の常数項は-1.0~-2.5で、その差は1.5dBとなった。補正後の周波数による差は、最大で1.5dBと小さくなり、平均は-1.85dBで標準偏差は0.57dBとなった。理論的には常数項は0であり、補正前の平均値の方が補正後の平均値に比して0に近い値であった。しかし、最大と最小の差および標準偏差は補正後の方が小さい。従って、常数項と理論値の差は大きくなったが変動幅が小さくなり、周波数に関与されない値となったと判断できる。すなわち、補正の結果として周波数に関与されない補正理想線が式(8-36)として求められたと判断できる。常数項の値は4周波数の平均値とした。

$$BIO = CSV_f + 1.85 \quad (8-36)$$

ここで、対数生物量BIOは第6章で定義した様に単位空間体積当りの沈澱量である。この沈澱量は8.4.3で記した様に沈澱量は排斥水量の5.55倍となった。また、第6章で論議した様に、計測時の沈澱量は採集時の沈澱量の85%と見積った。本研究のここまでの理論展開においては、ネット採集生物の沈澱量を実際の採集生物体積である排斥水量と同等であるとして扱ってきたが、両者の値は同等ではない。ここで採集時の排斥水量を V_d とし、これから求まる対数生物量 BIO_d とすると、式(8-37)となる。

$$BIO_d = 10 \log V_d \quad (8-37)$$

BIOは、式(8-38)となる。

$$BIO = 10 \log \{ (5.55 \cdot V_d) \cdot 0.85 \} \quad (8-38)$$

式(8-38)を式(8-36)に代入し、整理すると、

$$10 \log V_d = CSV_f - 4.89 \quad (8-39)$$

となり、式(8-39)を式(8-37)に代入し、式(8-40)を得る。

$$BIO_d = CSV_f - 4.89 \quad (8-40)$$

ここで、計算対数生物量(補正体積散乱強度)を散乱層に実際に存在する生物の量と同値であるとし、生物量の排斥水量を V_{dB} 、対数生物量を BIO_{dB} とすると、

$$BIO_{dB} - BIO = 4.89 \quad (8-41)$$

となり、

$$\log(V_{dB}/V) = 0.489 \quad (8-43)$$

となる。従って、

$$V_{dB}/V = 3.08 \quad (8-44)$$

となり、散乱層内に実際に存在すると考えられる生物の量は採集生物量の3.08倍となる。

ここで、この値をネットアボイダンスによる実存する生物量と採集生物量との差と考えることも可能であるが、ORIネットによる知見はなく、根拠はない。

次に、モデルに与えた係数値に関して考える。本研究では、Kristensenモデルを使用し、密度比としてGreenlaw(1979)が23mmのオキアミから求めた $g = 1.06$ および音速比として $h = 1.03$ を用い、生物の音響的指向性は球体モデルとして無いものとした。まず、密度比および音速比であるが、この値は式(7-2)に示した定数 B として与えられる。図8-11は g および h の値による $10\log B$ の変化を示し、 g および h が本研究に用いた設定値より大であれば $10\log B$ は相対的に大きくなり、 CSV_r が小さくなるから、 BIO は相対的に小さくなり、実存生物量と採集生物量の差は大きくなる。設定値より小であれば差はさらに小さくなる。この様に g および h により BIO_{dB} と BIO との関係は変化する。さらに、7.4.2のモデルの選択において述べた様にモデルパラメータは動物プランクトンを主に考えた適用であり、マイクロネクトンも同等とした仮定に基づいている。

また、生物の指向性を本研究では減衰定数 d_r として扱い、この値を8.2.3において $-8dB$ とした。この値の取り方によっても BIO_{dB} と BIO との関係は変化

する。従って、ネットアボイダンスにより実存生物量が採集生物量に比して大であることは推測でき、本研究の結果はこれを支持するものであるが不確定要素もあり今後の問題である。

8. 7 推定生物量と推定幅

以上、4周波数による散乱層の計測から構成生物の支配的なサイズおよび生物量の推定手法に関した解析を行い、考察した。支配的なサイズの推定結果と採集生物の分別結果との関係は、推定結果がランク26および27に集中し、詳細な分析はできなかったが、生物の分別から得た大型、小型およびこれらの中間型とサイズランクは良く対応した。また、生物量に関しては、求めた補正理想線が周波数に無関係な直線として示され、生物サイズによる補正のための変数 C_r の導入を考えた本研究の理論展開が正しいことを証明していると考えられる。本研究の手法に従い、広範囲な海域の動物プランクトン、マイクロネクトンの支配的な生物サイズおよび生物量を迅速にかつ連続して推定することが可能であると考えられる。

ただし、現段階では実存生物量と採集生物量の関係は明確になっておらず、本研究でのORIネットによる採集方法に従った沈澱生物量(排水生物量)あるいは相対実存生物量として生物量を評価しなければならない。

表8-9(a)~(d)は、それぞれ4周波数における27測点の採集生物および式(8-37)を用いて求め、空間体積 1km^2 当りに換算した沈澱量および推定沈澱量であり、表の3列目は推定量/採集量を示している。

この表から、採集生物の沈澱量に対して、各周波数において以下の様な割合で推定されたことになる。

200kHz: 平均123%、標準偏差20%、最大442%、最小24%

120kHz: 平均159%、標準偏差22%、最大444%、最小22%

50kHz: 平均119%、標準偏差19%、最大396%、最小15%

38kHz: 平均143%、標準偏差20%、最大372%、最小24%

周波数により推定量は多少異なるが、平均値および標準偏差からは1.0~1.8倍の範囲であり、最小、最大は0.15~4.4倍に範囲であった。採集生物量の最小と最大との差は約8.7倍であり、様々な海域生物量の比較も充分に行える推定生物量の幅であると考えられる。

8. 6 論議

Kristensenモデルを導入し、 C_r を変数として、散乱層を構成する生物のサイズ推定方法を検討した。本研究では、限られた4周波数でのサイズ推定方法として、散乱層構成生物のサイズ分布が、あるサイズで支配的(dominant)になると仮定した支配的サイズを推定する「最小2乗推定法」および「序列適合法」を考えた。

支配的サイズ推定手法は、Greenlaw(1979), Greenlaw and Johnson(1983)およびKristensen and Dalen(1986)の推定手法に比較すると精度が落ちる手法である。しかし、Greenlaw(1979)らの手法は、生物個々の形態的および内的な音響特性は、未だ不明な部分が多く、現段階では詳細なサイズ推定には対応できないと考える。

本研究では限られた周波数も考慮に入れ、生物個々の音響特性には言及せず、形態的には球体モデルとした等価半径を導入し、内的音響特性も一定値として扱い、支配的サイズ推定手法の導入を行った。生物個々の問題は研究の発展段階にあると考える。従って、採集生物の分別も概略形態として行ったが、モデルの設定に従い生物個々を考えない表8-7としてまとめた。

本研究の支配的サイズ推定結果と採集生物分別結果との関係は、推定結果に比し採集生物は小型傾向であったが、大型、小型および中間型とした傾向と良く一致したと考える。サイズ推定に関しては、現段階では詳細な精度は望めないが、支配的サイズ推定手法による推定は有効な手法であると考えられる。

実際に存在する生物のサイズ分布は、ネットアボイダンスの定量的評価ができず、分別した試料からは支配的なサイズを示すことはできなかった。本研究に使用したORIネットについてのネットアボイダンスの研究は見あたらず詳細な論議はできない。しかし、ネットアボイダンスによる影響は多分にあると考えられ、実際は本

研究の分類群として分別した生物は大きいほどネットアボイダンスが大であり、大きな生物ほど過小な占有割合が示されたと考えるのが妥当であろう。従って、生物の行動様式を考慮に入れる必要があり、生物の大きさに順じた乗率を考える必要がある。生物を扱う上での今後の課題としたい。また、音響計測の側面からは、図7-2から判断できる様に等価半径が0.5mm程度以下の生物はターゲットストレングスが非常に小さくなり、生物の占有割合が大きい場合においても量的に少ない場合は計測される体積散乱強度に影響を与えない状況も考えられる。

生物量推定に関しては、支配的サイズ推定から得た結果を基に実測した平均体積散乱強度の補正值を求め、補正体積散乱強度(計算対数生物量) CSV_r と対数生物量 BIO との関係求めた。この結果、4周波数共、共通した1次式で示すことができた。理論においては、 CSV_r と BIO は同値であるが常数項の存在が示された。この常数項は採集した生物の生物量の取り扱い、モデルに与えたパラメータ値の影響によると考えられ、さらに生物採集時のネットアボイダンスによる実際に存在する生物量との差が考えられた。ネットアボイダンスの影響は前記した様に事実と判断できるが、量的な根拠はなく、今後の検討事項である。

従って、現段階では本研究における生物量の推定はORIネットによる採集方法に従った生物量として扱うことにとどめた。

第9章 世界主要海域の生物量および生物サイズの推定

9. 1 緒言

第8章において4周波数による音響リモートセンシングから散乱層を構成する動物プランクトン、マイクロネクトンの支配的サイズおよび生物量を推定する手法を論議した。この結果、共振モデルを導入した支配的サイズ推定法として、「最小2乗推定法」および「序列適合法」の併用により支配的サイズ推定が可能となり、生物量も、散乱層に実存する生物量との明確な関係は不明であるが、支配的サイズランクを用い、計測した平均体積散乱強度を補正する変数 C_{sv} の導入で相対量として、採集した対数生物量と補正平均体積散乱強度（計算対数生物量）の関係を一般式として用いることが可能となった。

本章では、これらの支配的サイズ推定手法および生物量推定手法を用い、世界主要海域の生物量を推定した。本章で使用した資料は、3. 1に示した航海において得た、4周波数の平均体積散乱強度である。ABISの鉛直的な計測層は、20層であるが、ノイズとの関係で高周波数（200kHz）は第5章に示した様に水深130m程度までが計測可能であり、精度の確保を考慮し、水深10m～120mまでの積分層幅10mで計測した11層の平均体積散乱強度の計測結果を用いた（第1層～第11層）。生物量および支配的サイズ推定に使用したデータは第5章で示した付図（a）～（u）である。位置、時刻等は図中に示してある。

9. 2 結果および考察

付表（a）～（u）は付図（a）～（u）に対応した観測データと推定結果をまとめたものである。各表の上段は夜間、下段は昼間の結果である。各段の上が観測データである。観測データは積分層番号、各周波数の平均体積散乱強度〔dB〕およびSV差〔dB〕を示した。各段の下が推定値である。推定値は積分番号、各周波数の補正平均体積散乱強度（ C_{sv} 〔dB〕：計算対数生物量）および補正平均体積散乱強度の平均値、最大値、最小値を示した。支配的サイズランク（rank）は「推定段階」と共に示した。尚、付表中支配的サイズランクが100と推定された層が

5 2 3 層中 4 層あるが、本研究の推定ランク範囲は 1 0 0 までであるため、このサイズ以上の推定は行わず 1 0 0 とした。また、右の 3 列は平均、最大および最小の補正平均体積散乱強度から求めた水深 10~120m までとした各種分層（第 1 層~第 1 1 層）の 1km^2 当りの推定生物量（推定沈殿量）であり、この推定生物量は、式（8-37）を用いて求めた採集生物量に比例する量である。

図 9-1 は、補正平均体積散乱強度（計算対数生物量）から求めた、採集地点に対応させた昼夜の推定生物量である。左側の黒塗バーが夜間であり、右側の白抜きが昼間である。

この結果、生物量が多いと推定された海域はインド洋で、ついで南シナ海、地中海のそれぞれ 1 点、太平洋-2 であった。計測海域中、大西洋が最も生物量が少ない海域であると推定された。各海域での採集生物量に関しては 6. 3. 3 で記した（図 6-4）。

太平洋-2、インド洋、南シナ海は著名な湧昇域であり（宇田 1974）、湧昇に関連した生産力が高い海域（奈須 1974）である。インド洋のベシガル湾は Rao (1973) によると St. 20 近傍は動物プランクトンの分布が特に多い海域として示されており、本研究の推定結果とも一致した。

本計測における特異点が St. 3 である。この点の推定生物量は $53\text{m}^3/\text{km}^2$ であり、周辺での推定量に比して極端に低い。さらに、他の海域に比してもかなり低い値である。この点での採集生物量は夜間 2 回実施しており、曳網層は 30~40m、65~75m である。この両層からの採集生物量は表 6-4 の対数生物量からそれぞれ -68.6、-69.9 である。St. 5 での観測は昼夜実施され、昼間および夜間の 25~35m 層ではそれぞれ -60.7、-59.4 である。従って、ほぼ同一曳網層である St. 3 の 30~40m 層と比較すると夜間では約 9dB の差となる。この生物量の差は約 8 倍となり St. 3 の生物量が低いことが示唆された。また、この層での推定生物量は St. 3 では $2\text{m}^3/\text{km}^2$ であり、St. 5 では第 2 層と第 3 層の平均として昼夜それぞれ $324\text{m}^3/\text{km}^2$ および $28\text{m}^3/\text{km}^2$ であった。推定値からは 1.4~1.6 2 倍の差となる。曳網点と生物量推定点は位置が多少異なるが極端な差である。さらに、St. 3 の採集生物サイズ組成は表 8-7 から、他の曳網点とは異なることがわかる。従って、生物組成としても特異点であり、この点の推定生物量に関しては現段階では良否の判断はせず、今後の問題とする。

推定した支配的サイズランクの推定段階は「段階 1」が全推定数 5 2 3 中 1 7 の

3. 3%、「段階2」が408で78.0%、「段階3」が98で18.7%であった。この推定段階の割合は9.2.5のネット採集時の結果では、「段階1」で63.0%、「段階2」で29.6%であり、「段階3」では、3.7%であった。

この推定段階の割合の差は推定距離空間の差であると考え。第8章での分析はネット曳網中でのものであり、2knotで20分の距離である約0.7n.mile以内の距離空間の結果である。一方、本章での分析は第5章で示した様に5~10n.mileと距離空間を広げた結果である。

散乱層構成生物の空間分布における密度変化は種によってスケールは異なると思われるが一律ではない。すなわち、ネット曳網時の0.7n.mile程度のスケールでは混在生物のサイズ変化、密度変化は小さく、5~10n.mileではこれらの変化がありS.V差に影響が出たものとする。動物プランクトンの水平的な空間分布に関する研究はLonghurst-Hardy ネットによる報告がある。Wiebe(1970)は、アメリカ大陸西岸の Baja California の沿岸で水平採集を行い、スモールスケール(10mオーダー)からラージスケール(1000mオーダー)での動物プランクトンの個体数変化を調べ、大小のパッチの存在を報告した。これらのパッチは種によってスケールは異なり数100m~1000mオーダーではスモールスケール変動に大きな変動が乗ることを示した。

本章での生物支配的サイズおよび生物量の推定結果の評価であるが、サイズランクの推定段階が1となったものが少なく8.7で記した生物量の推定精度より悪くなると考えるがある程度の推定はできたと考える。尚、推定精度の簡便な判定は、推定生物量の最大、最小値の幅である。この幅が小さければ精度は比較的良いと判断できる。すなわち、推定サイズランクによる平均体積散乱強度の補正が良ければ周波数に依存しない補正平均体積散乱強度(計算対数生物量)が得られたことを示すからである。

第10章 総合論議

海洋生物の音響的調査手法（音響リモートセンシング）による資源量評価を目的とする我が国の研究は先駆的な位置にあり、1950年代から開始されている（Yokota et al. 1953, 黒木・中馬 1953）。近年では、音響および電子技術の発展にともない魚探は高精度化され、さらに小型マイクロプロセッサの搭載にともない、多量の音響情報をオンライン処理により量的情報として扱える様になった。この様に高精度、高速処理の機能を有した魚探は「科学魚探」（scientific echo-sounder）と称され、現在では「計量型魚探」の総称で多くの水産研究者によって調査、研究に供され更なる発展が継続されている。

本研究は、継続、発展する水産音響学的一端として、動物プランクトン、マイクロネクトンによって構成された散乱層に注目し、散乱層の分布、移動および構成生物の量的把握を目的とし、これらの目的を達成するために必要な音響情報の精度を確保するためのデータ補正にも言及した。

散乱層を構成する生物は研究史に記した様に様々な動物プランクトン、マイクロネクトンである。これらの生物は海洋生態系の中で重要な位置を占めており、昼夜鉛直移動するものが多く海洋の鉛直的なエネルギー輸送に多大な貢献をしている。この様な生物の現存量およびサイズ組成を音響リモートセンシングにより連続的に、かつ短時間で把握可能となれば水産生物学・生態学的一端に寄与できると考え、多周波数（本研究では4周波数）での現存量推定および支配的サイズ推定手法を確立した。また、散乱層の分布が海洋物理環境（水温、塩分）と対応することを確認し、漁場形成機構の解明および特定生物の分布、移動解明に重要な情報であることを明らかにした。

我が国における音響リモートセンシングによる散乱層構成生物である動物プランクトン、マイクロネクトンの現存量を扱った研究は少ない。動物プランクトンを扱った量計測は稲垣ら（1983）によって湖である霞ヶ浦（茨城県）で200kHzの単一周波数を用いて実施された。対象とした動物プランクトンはイサザアミ（*Neomysis inertmedia*）である。この時は、Johnsonモデルによりターゲットストレンジスを推定し、採集生物との整合性を見だし、現存量の推定を行った。これらの結果は立川ら（1984）によって報告された。マイクロネクトンを扱った量計測は、日本海

に生息するキュウリエソ (*Mauroricus muelleri*) を対象としたもので、濱野 (1991) により 88kHz の単一周波数を用いて実施された。

多周波数による計測は 2 周波数であるが 28.5kHz および 96.2kHz によってオキアミを主体とした量計測が滝口ら (1988) によって試みられた。

諸外国では、本研究に Kristensen モデルを適用し、パラメータも引用した様に散乱層構成生物の音響リモートセンシングによる量およびサイズ把握の研究は多い。近年では海洋現場での直接的な計測として、Wiebe et al. (1990) は散乱モデルを導入するとともにデュアルビーム (dual-beam) 法により個体のターゲットストレングス計測を行っている。

我が国は水産資源の利用率が高く、ネクトンの餌料生物となる散乱層構成生物の量把握は漁場環境、漁場形成を考えた漁場管理には欠くことができない重要事項であると考えられる。また、散乱層構成生物である駿河湾のサクラエビ等を直接利用している。この様に、散乱層構成生物の量把握は重要なことである。

本研究の成果は、従来、散乱層構成生物のサイズ組成、量把握がネット等による採集によってなされてきた点 (採集点) 情報を線的、面的な連続情報として扱うことができることにあると考える。これは、本研究が独立した手法と断言するのではなく従来手法をバックアップする立場で、さらに発展させることができると言うことである。すなわち、ネット採集等の生物情報は本研究に多大な情報を提供し一方、本研究は効率的な生物採集の情報を提供することになる。

さて、本研究には、まだ様々な問題点が残されている。一つには、散乱層の構成生物の支配的なサイズ分布を仮定したことにある。サイズ分布が複雑なものである場合には本研究の手法は適用が困難になる。また、本研究に使用した周波数では、表 8-1 に示した様にサイズランクが 56 以上になると SV 差序列は固定されてしまい、さらに図 8-6 からわかる様に SV 差は 0 に漸近する傾向となり顕著な特徴が示されない状況となる。この様に、サイズ組成、サイズ範囲が本研究の成果の適用範囲を限定する。比較的種組成が単純で、サイズがそろっている散乱層について検討を進め、適用範囲、推定精度の検討をする必要があると考える。

採集生物については、本研究では口径 160 cm のネットによるものを用いた。ネットアボイダンスの影響を本論文でも議論したが、さらに大型のネットを用いた採集生物との比較が必要である。これにより、推定サイズランクと採集生物のサイズと

の関係をさらに論議することが可能となる。さらに、本研究の結果として得られた計算対数生物量 CSV_r (補正平均体積散乱強度) と実際に存在する生物の量との関連を論議することが可能となる。

次に、本研究では、水平的な散乱層内の生物分布に対する検討を行わなかった。すなわち、生物分布が連続的であるのか、濃淡があるのか、またパッチ構造であるのかは言及せず一様な分布として扱った。この結果が、生物採集に対応した空間内での支配的サイズの「推定段階」の評価は良好であったが、さらに広げた空間では「推定段階」の評価が落ちた原因の一つであると考ええる。

今後は、生物分布の空間スケールを考慮した音響計測(深度方向の積分幅、水平方向の積分回数または積分距離)を考慮に入れる必要がある。

また、導入したモデルのパラメータに関しては文献からの引用および値を仮定することにより論を進めた。今後は、パラメータの検討を含めモデルの充実をはかる必要がある。

最後に、平均体積散乱強度と生物量の関係を求めるために生物量として体積(沈澱量)を選択したことであるが、一般的にはエネルギー量としての換算が考えられる重量が用いられている。しかし、本研究では、音響理論からのモデルの展開において長さの尺度が生物量の表現に適していることを明らかにし、沈澱量を選択した。第8章では、生物の分別において排斥水量を用い、沈澱量に換算した。このことは、排斥水量を本研究の生物量として初めから採用すべきであったことを示しており、論理の展開に無駄な手続きがあったことが指摘されよう。しかし、この生物量の取り扱いの矛盾は以下の理由による。本研究を進めるに当たり、採集生物の取り扱いを検討し、生物の取り扱いは慎重に行うべきだとし、生物の破損をできるだけ少なくすることを考えた。また、生物の取り扱いには熟達しておらず、生物試料の計測を短期日で完了できないと考え、また数度の再計測の必要性もあると考えた。従って、研究を進める過程において当初は排水しない状態での保存が賢明であると判断した。すなわち、排水計測、ホルマリン保存の繰り返しにより生物試料の変形、変質を考慮したことにより、生物取り扱いの未熟にある。従って、推定サイズランクと分別生物のサイズ別体積比較においても生物取り扱いの未熟による計測誤差があることは否定できない。このことは、今後の研究を進展させる上で重要なことであり、慎重さが要求される。

謝辞

本研究を進め、取り纏めるにあたり、終始懇切なる御指導、御鞭撻を賜り、さらに本論文の御校閲をいただいた東京大学海洋研究所教授石井丈夫博士に謹んで感謝の意を表す。同研究所助教授青木一郎博士には本研究の遂行上多くの御助言と御指導をいただくと共に本論文の御校閲をいただいた。ここに深く感謝申し上げる。また、東京大学海洋研究所助教授岸野洋久博士には本論文の御校閲をいただくとともに、有益な御教示をいただいた。厚く御礼申し上げます。

著者が本研究に携わるきっかけと御指導および御助言をいただいた前水産大学校長青山恒雄博士に対し厚く御礼申し上げます。

本研究で用いた資料は東京大学海洋研究所研究船白鳳丸によって観測、計測されたものである。著者の乗船調査にあたっては、前白鳳丸船長五十嵐 宏氏、白鳳丸船長島宗秀治氏ならびに士官、乗組員の方々の御指導、御協力いただいた。また、本研究の遂行にあたり同研究所研究船淡青丸による観測、計測は基礎となる重要なものであった。淡青丸乗船にあたっては、船長上之清尚氏ならびに士官、乗組員の方々の御指導、御協力をいただいた。ここに記して御礼申し上げます。

最後に、著者の東京大学海洋研究所での所属部門である漁業測定部門助手小松輝久博士、助手石田健一博士、青山碩子技術官はじめ大学院諸兄には、有益な御助言ならびに御便宜をいただいた。これらの方々に心より御礼申し上げます。

文献

- Anderson, V. C. 1950. Sound scattering from a fluid sphere. *J. Acoust. Soc. Am.*, 22(4), 426-431.
- Andreeva, I. B. 1974. Scattering of sound by air bladders of fish in deep sound-scattering ocean layers. *Sov. Phys. Acoust.*, 10, 17-20.
- 青山恒雄・石井丈夫・青木一郎・稲垣 正 1982. ネクトンおよびマイクロネクトンのクイックアセスメント技法開発に関する基礎的研究. 昭和56年度化学研究費補助金(一般研究B)研究成果報告, 106pp.
- Barraclough, W. E. and R. J. LeBrasseur. 1969. Shallow scattering layer in the Subarctic Pacific Ocean: Detection by high-frequency echo sounder. *Science*, 116, 611-613.
- Bary, B. M. 1966. Back scattering at 12kc/s in relation to biomass and numbers of zooplanktonic organisms in Sannich Inlet, British Columbia. *Deep-Sea Res.*, 13, 655-666.
- Beamish, P. 1971. Quantitative measurements of acoustic scattering from zooplanktonic organisms. *Deep-Sea Res.*, 18, 811-822.
- Beers, J. R. 1976. Determination of zooplankton biomass. In Steedman (ed.), *Monographs on oceanographic methodology 4. Zooplankton fixation and preservation. UNESCO, Part II*, 35-84.
- Boden, B. P. 1950. Plankton organisms in the deep scattering layer. *U. S. N. Electron Lab. Rep.*, 186, 1-29.
- Braham, E. G. 1957. The ecology of sonic scattering layers in Montrey Bay area. *Hopkins Marine Station Stanford Univ. Tec. Rep.*, 1, X+182.
- Chapman, R. P., O. Z. Bluy, R. H. Adlington and A. E. Robison 1974. Deep scattering layer spectra in the Atlantic and Pacific Oceans and adjacent seas. *J. Acoust. Soc. Am.*, 56(6), 1722-1734.

- Clay, C. S. and H. Medwin 1977. Acoustical Oceanography. John Wiley & Son. New York, 544pp.
- Clutter, R. I. and M. Anraku 1968. Avoidance of samples. In Tranter (ed.) . Monographs on oceanographic methodology 2, Zooplankton sampling, UNESCO, Prat I 4. 57-76.
- Cusing, D. H. and Richardson 1955. Echo sounding experiments on fish. Min. Agric. Fish. Food, U. K., Fish Invest. Ser. II, 18(4), 34pp.
- Cusing, D. H. 1957. The interpretation of echo trace. Min. Agric. Fish. Food, U. K., Fish Invest. Ser. II, 21(3), 16pp
- Eyring, C. F., R. J. Christensen and Raitt R. W. 1948. Reverberation in the sea. J. Acoust. Soc. Am., 20, 462-475.
- Fisher, F. H and E. D. Squier 1975. Observation of acoustic layering and internal waves with a narrow-beam 87.5kHz echo sounder. J. Acoust. Soc. Am., 58(6), 1315-1317.
- Foot, K. G. 1990. Target strength of Antarctic krill (Euphausia superba) at 38 and 120kHz. J. Acoust. Soc. Am., 87(1), 16-24.
- Francois, E. E. and G. R. Garrison 1982. Sound absorption based on ocean measurements. Part II: Boric acid contribution and equation for total absorption. J. Acoust. Soc. Am., 72(6), 1879-1890.
- 古野電気株式会社 1989a. 生物資源音響探査システム. 海洋音響研究会誌, 16, 219-220.
- 古野電気株式会社 1989b. 「音響資源探査システム」取り扱い説明書. 西宮.
- 古沢昌彦 1990. 水産資源推定のための超音波による魚群探知に関する研究. 水工研報告, 11, 173-248.
- Greenlaw, C. F. 1977. Backscattering spectra of preserved zooplankton. J. Acoust. Soc. Am., 62(1), 44-52.
- Greenlaw, C. F. 1979. Acoustical estimation of zooplankton populations. Limnol. Oceanogr., 24(2), 226-242.
- Greenlaw, C. F. 1982. Physical and acoustical properties of zooplankton. J. Acoust. Soc. Am., 72(6), 1706-1710.

- Greenlaw, D. F. and R. K. Johnson 1983. Multiple-frequency acoustical estimation. *Biol. Oceanogr.* 2(2-3-4), 227-252.
- Hall, M. 1970. Volume backscattering in the South China Sea and the Indian Ocean. *J. Acoust. Soc. Am.*, 50(3), 940-945.
- 濱野 明 1991. 魚類マイクロネクトンの資源量評価のための音響的調査手法に関する研究. 学位論文. 東京大学. 東京. 163pp.
- 橋本富寿 1951. 超音波測深機・魚群探知機並にその応用に関する研究. 漁船研資料第2号. 150pp.
- Hersey, J. B. and R. H. Backus 1962. Sound scattering by marine organisms. In Hill(ed.), *The Sea*. Interscience, New York, 498-539.
- Holliday, D. V. 1980. Volume scattering strength and zooplankton distributions at acoustic frequencies between 0.5 and 3MHz. *J. Acoust. Soc. Am.*, 67(1), 135-146.
- 稲垣 正・立川賢一・春日清一・北畠能房 1983. 霞ヶ浦におけるイサザアミの音響計測. 昭和58年度日本水産学会春期大会講演要旨集, p. 19.
- 稲垣 正・李 国添・青山恒雄 1985. 魚群探知機によるナンキョクオキアミ及び他生物の計測. 第7回極域生物シンポジウム講演要旨集, 28-29.
- 稲垣 正 1986. 魚群探知機による生物量の測定および海洋構造の計測. 海洋音響研究会誌, 14(3), 132-134.
- 石居 進 1975. 生物統計学入門. 培風館, 290pp.
- Johnson, M. W. 1948. Sound as a tool in marine ecology, from data on biological noise and the deep scattering layer. *J. Mar. Res.*, 7, 443-458.
- Johnson, R. K. 1977a. Sound scattering from a fluid sphere revisited. *J. Acoust. Soc. Am.*, 61(2), 375-378.
- Johnson, R. K. 1977b. Acoustic estimation of scattering-layer composition. *J. Acoust. Soc. Am.*, 61(6), 1636-1639.
- 北川敏夫・増山元三郎編 1952. 新編統計数値表. 河出書房, 264pp.

- Kristensen, A. and J. Dalen 1986. Acoustic estimation of size distribution and abundance of zooplankton. *J. Acoust. Soc. Am.*, 80(2), 601-611.
- 黒木敏郎・中馬三千雄 1953. 水平魚群探知機に関する研究(第1報)、池田湖に於ける魚群量の推定. 鹿児島大学水産学部紀要(3)、56-64.
- Love, R. H. 1978. Resonant acoustic scattering by swimbladder-bearing fish. *J. Acoust. Soc. Am.*, 64(2), 571-579.
- 間庭愛信 1962. mm波超音波を応用した水中測器の開発に関する研究. 漁船研報告, (4), 1-137.
- Marshalle, N. B. 1951. Bathypelagic fishes as sound scattering in the ocean. *J. Mar. Res.*, 10(1), 1-17.
- McCarney, B. S. and A. R. Stubbs 1970. Measurement target strength of fish in the dorsal aspect, including swimbladder resonance, in Farquhar(ed.), *Proceedings of an International Simpo. Biol. Sound Scattering in the Oceans*, 180-211.
- Moore, H. B. 1950. The relation between the scattering layer and the euphausiacea. *Biol. Bull.*, 99, 181-212.
- 元田 茂 1974. プランクトンの採集. 海洋プランクトン(丸茂隆三編), 東京大学出版会, 191-225.
- 奈須敬二 1974. 資源環境としての湧昇流. 月刊海洋科学、海洋出版,(6)37-41
- Nemoto, T. and T. Matsuda(eds.) 1983. *Proceeding of the biomass colloquium in 1982*, 247pp.
- 西村 実 1969. 魚群探知機の最適周波数に関する研究. 学位論文. 東北大学. 仙台, 155pp.
- Novarini, J. C. and D. R. Bruno 1982. Effects of the sub-surface bubbles layer on sound propagation. *J. Acoust. Soc. Am.*, 72(2), 510-514
- Pieper, R. E. 1979. Euphausiid distribution and biomass determined acoustically at 102 kHz. *Deep-Sea Res.*, 26/6A, 687-702

- Rao, T. S. S. 1973. In "The Biology of the Indian Ocean", Springer-Verlag Inc., 243-255.
- 斎藤 一郎・三島清吉 1953. 音響測深機（魚群探知機）によるプランクトンの探知と漁場に於ける操業位置選定に関する研究. 北海道大学水産学部彙報, 3(4), 269-272.
- Sameoto, D. D. 1980. Quantitative measurements of euphausiids using a 120-kHz sounder and their in situ orientation. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 3, 693-702.
- Sasakura, T., H. Shiraishi, H. Iino, K. Minohara and H. Aoki 1984. Acoustic system for the assessment of fisheries. FAO Fish. Circ., (778), 31-43.
- Springer, J. A. and R. G. Turner 1973. Backscattering of sound from the ocean volume between Vancouver Island and Hawaii. J. Acoust. Soc. Am., 54(2), 483-493.
- 柴田恵司 1963. 魚群探知機に現われた記録解析の試み - IV, D. S. L. とマグロ類の食物環境について (I). 長崎大学水産学部研究報, 5, 59-84.
- Sokal, R. R. and Rohlf, F. J. 1981. 生物統計学 (藤井宏一 訳). 共立出版, 449pp.
- Steedman, H. P. 1976. General and applied data on formaldehyde fixation and preservation of marine zooplankton. In Steedman (ed.), Monographs on Oceanographic Methodology 4, Zooplankton fixation and preservation. UNESCO, Prat V, 1, 103-154.
- 鈴木恒由 1963. 襟裳岬近海に現われる D S L の日変化と水中照度およびプランクトン量との関係について. 北海道大学水産学部彙報, 29(10), 1000-1004.
- 鈴木恒由・伊藤 準 1967. 北西太平洋水域における D S L について - I, 垂直移動・水中照度およびプランクトン量などについて. 北海道大学水産学部彙報, 33(4), 325-337.
- 鈴木恒由・佐野典達・飯田浩二 1984. 渡島半島東部における音響散乱層の時空間的挙動について. 北海道大学水産学部彙報, 35(4), 243-253.

- 滝口直之・鈴木恒由・佐野典達・飯田浩二 1988. 計量魚探を用いた渡島半島東部における音響散乱層の生物密度推定について. 北海道大学水産学部彙報, 39(2), 115-123.
- 立川賢一・稲垣 正・春日清一・北畠能房・田中昌一 1984. 魚群探知機による霞ヶ浦のイサザアミ資源量の推定に関する研究. 国立公害研究所報告, 53, 29-60.
- Tsukamoto, K. 1992. Discovery of the spawning area for Japanese eel. *Nature*, 365(6372), 789-791.
- Urick, R. B. 1978. 水中音響の原理 (土屋 明訳). 共立出版, 東京, 414pp.
- 宇田道隆 1952. 海中超音波による水産生物研究の進歩. 科学, 22(2), 78-83
- 宇田道隆 1974. 世界海洋の湧昇現象. 月刊海洋科学, 海洋出版, (6), 14-21.
- Weston, D. E. 1958. Observations on scattering layer at the thermocline. *Deep-Sea Res.*, 5, 44-50.
- Weston, D. E. 1967. Sound propagation in the presence of bladder fish. in Albers (ed.), *Underwater Acoustics 2*: Plenum Press, New York, 55-88.
- Wiebe, P. H. 1970. Small-scale spatial distribution in oceanic zooplankton. *Limnol. Oceanogr.*, 15(2), 205-217.
- Wiebe, P. H., C. H. Greene, T. K. Stanton and J. Burczynski 1990. Sound scattering by live zooplankton and micronekton: Empirical studies with a dual-beam acoustical system. *J. Acoust. Soc. Am.* 88(5), 2346-2360.
- Yokota, T., T. Kitagawa and T. Asami 1953. Basic study of fish school research by fish finder. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 19(4), 341-371.

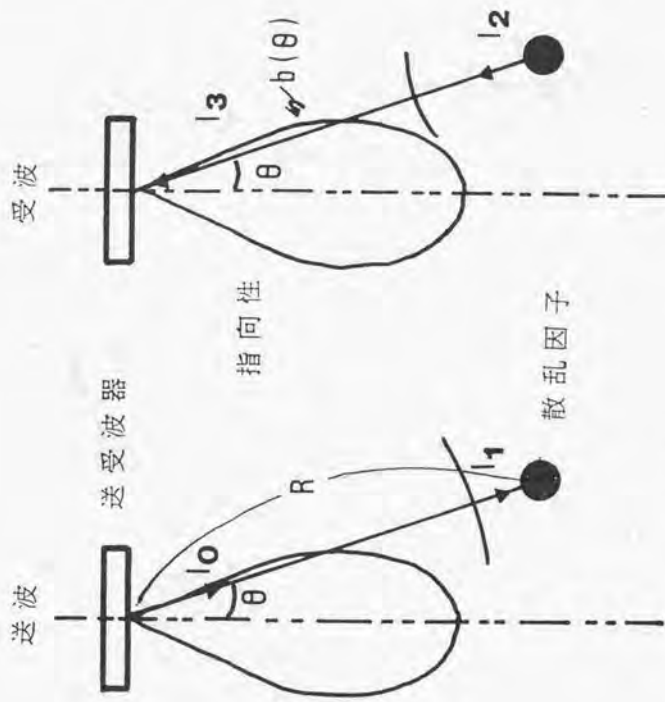
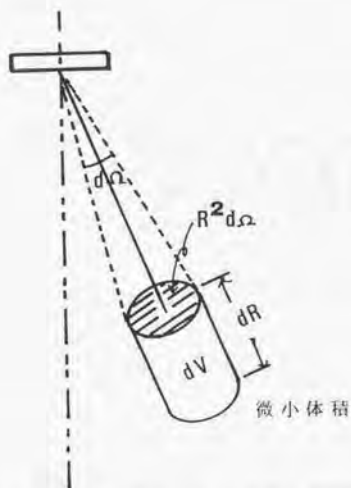
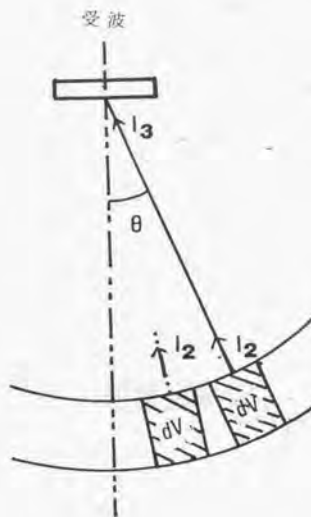
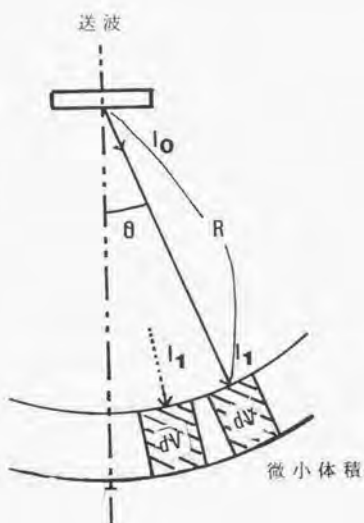


图 2-1 单体检波的几何学的取り扱い

I_0 : 送受波器から出力された音の強さ、
 I_1 : 散乱因子に入力した音の強さ
 I_2 : 散乱因子から後方散乱した音の強さ、
 I_3 : 送受波器に入力した音の強さ
 $b(\theta)$: 送受波器の指向性関数、 θ : 平面角



12-2 体積（多体）散乱の幾何学的取り扱い

- I_0 : 送受波器から出力された音の強さ、 I_1 : 微小体積 (dV) に入力した音の強さ
 I_2 : 微小体積から後方散乱した音の強さ、 I_3 : 送受波器に入力した音の強さ
 θ : 平面角、 R : 微小体積までの距離、 dV : 微小体積
 dR : 微小距離、 $d\Omega$: 微小立体角

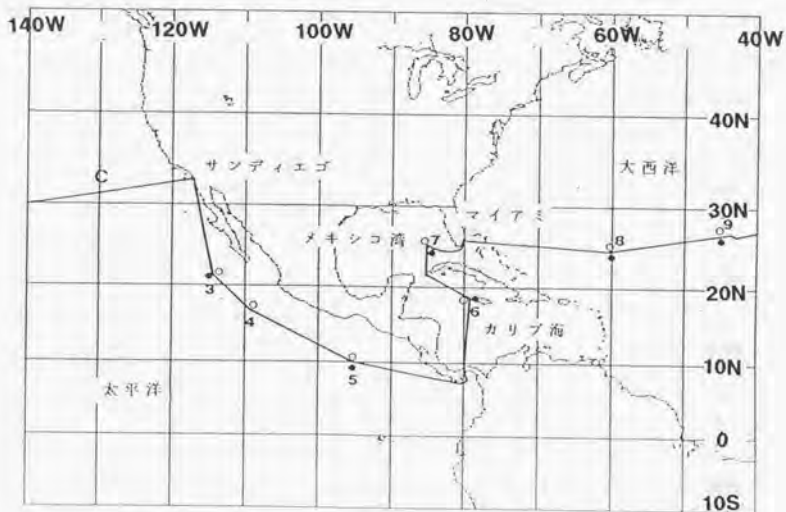
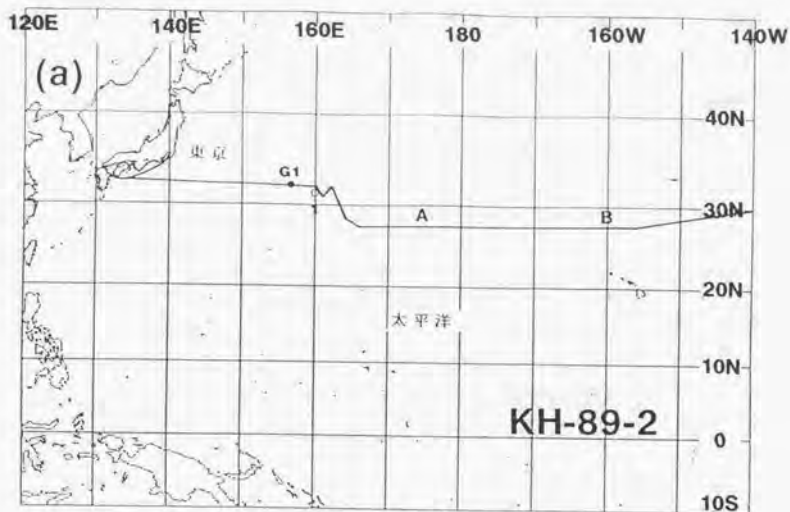


図3-1 (a) KH-89-2次航海航跡 (太平洋および大西洋)

- : ORI ネットによる生物採集点
- : CTDによる物理環境計測点
- 英数値: 観測点名

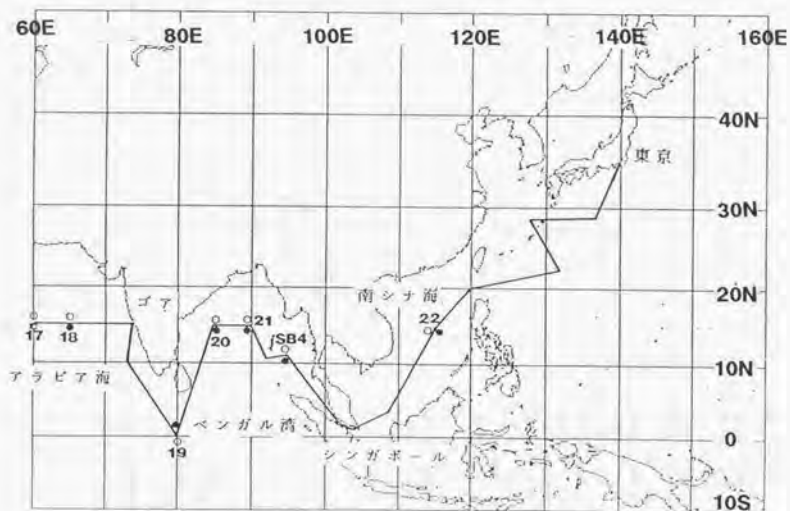
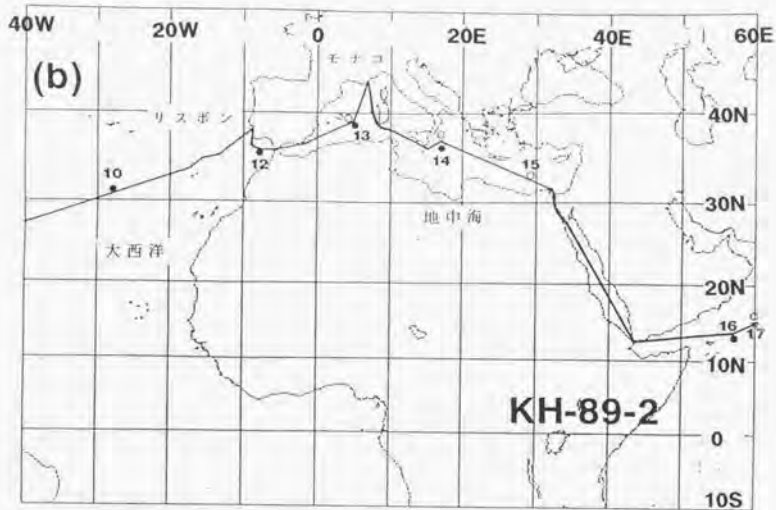


図3-1 (b) KH-89-2次航海航跡(大西洋、地中海、インド洋および南シナ海)

● : ORI ネットによる生物採集点

○ : CTDによる物理環境計測点

英数値: 観測点名

表 3-1 (b) ORI ネットによる生物採集一覧 (KH-89-2)

Sample Code のアルファベットは、

N : 夜間 (night) 曳網、D : 昼間 (day) 曳網

d : 同一測点での深い (deep) 曳網、s : 同一測点での浅い (shallow) 曳網を表わす

Sta.	Sample No.	Wire Code	Location		Date		Time
			Net in	Net out	Local Time	G M T	
16	16A2	150	15-55A	15-55N	Jan. 23 19:20-	20:00	Jan. 23 15:35-16:00
16	16A2	150	15-55A	15-55N	Jan. 23 20:00-	20:32	Jan. 23 16:00-16:32
17	17A4	70	15-56A	15-56N	Jan. 23 20:28-	21:02	Jan. 23 16:32-17:02
18	18A4	150	15-56A	15-56N	Jan. 25 21:11-	21:43	Jan. 25 17:11-17:43
18	18A4	80	15-56A	15-56N	Jan. 25 21:44-	22:05	Jan. 25 17:44-18:09
18	18A4	150	05-00	05-00	Feb. 3 11:25-	11:54	Feb. 3 05:25-05:54
19	19A4	80	05-00	05-00	Feb. 3 12:05-	12:24	Feb. 3 05:05-05:24
19	19A4	150	05-00	05-00	1980 Feb. 4 01:28-	01:54	1980 Feb. 3 19:28-19:55
19	19A4	80	05-02	05-02	Feb. 4 01:55-	02:24	Feb. 3 19:55-20:24
20	20A2	150	15-05N	15-05A	Feb. 7 00:40-	01:10	Feb. 6 18:40-19:10
20	20A4	80	15-05N	15-05A	Feb. 7 01:15-	01:44	Feb. 6 19:15-19:44
20	20A4	150	15-01N	15-01A	Feb. 7 16:41-	16:06	Feb. 7 09:41-09:09
20	20A4	40	15-01N	15-01A	Feb. 7 13:15-	13:38	Feb. 7 09:12-09:38

Sta.	Sample No.	Wire Code	Location		Date		Time
			Net in	Net out	Local Time	G M T	
21	21A6	150	15-00N	15-00A	Feb. 8 10:54-	11:23	Feb. 8 04:54-05:23
21	21A6	80	15-01N	15-01A	Feb. 8 11:25-	11:51	Feb. 8 05:25-05:51
22A	22A4	150	15-40N	15-40A	Feb. 8 20:58-	21:24	Feb. 8 15:58-16:24
22A	22A4	80	15-40N	15-40A	Feb. 8 20:58-	21:24	Feb. 8 15:58-16:24
22B	22B4	150	15-40N	15-40A	Feb. 8 00:22-	00:52	Feb. 8 16:22-16:52
22B	22B4	80	15-40N	15-40A	Feb. 11 03:15-	03:42	Feb. 10 20:15-20:42
22C	22C4	150	15-41N	15-41A	1980 Feb. 11 03:46-	04:12	Feb. 10 20:46-21:12
22C	22C4	80	15-41N	15-41A	Feb. 23 02:53-	03:03	Feb. 22 19:28-20:03
22D	22D4	150	15-01N	15-01A	Feb. 23 03:03-	03:34	Feb. 22 20:03-20:34
22D	22D4	80	15-01N	15-01A	Feb. 23 10:35-	10:54	Feb. 23 02:35-02:54
22E	22E4	80	15-01N	15-01A	Feb. 23 10:35-	11:24	Feb. 23 02:35-02:54

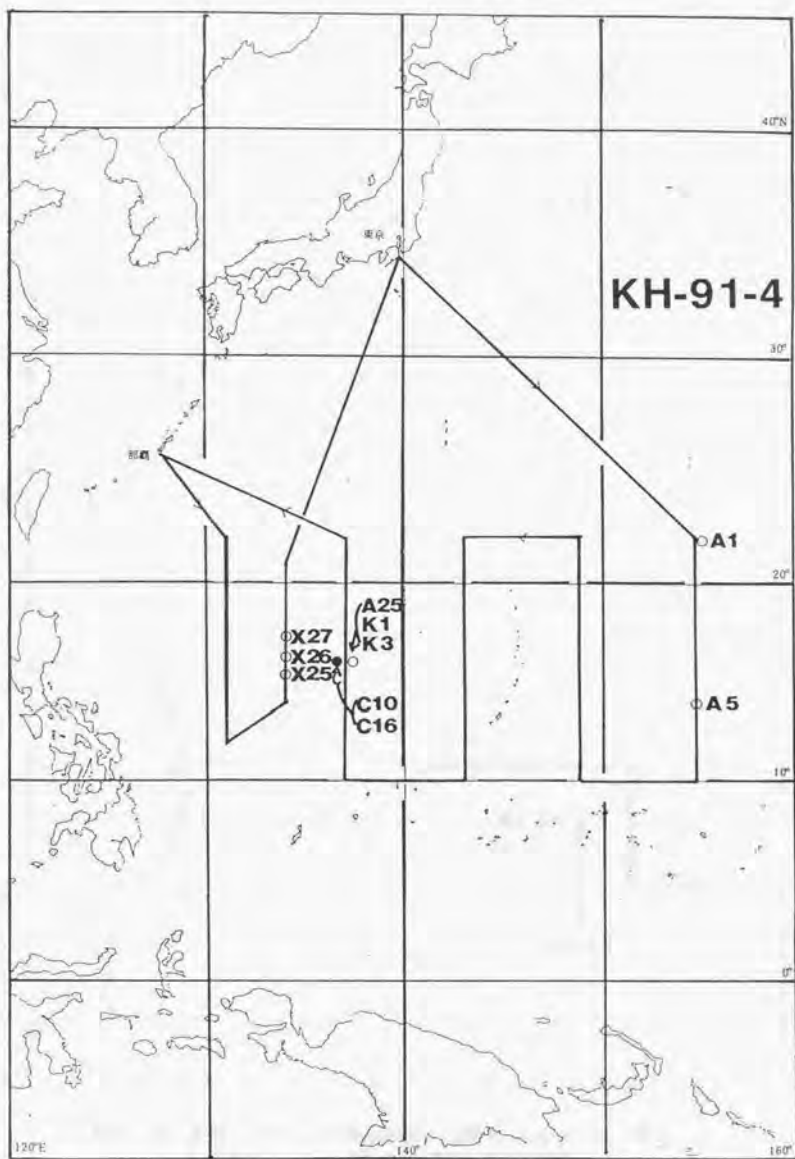


図3-2 KH-91-4次航海航跡(西部太平洋)

- : MTDネットによる生物採集点
 - : CTDによる物理環境計測点
- 英数値: 観測点名

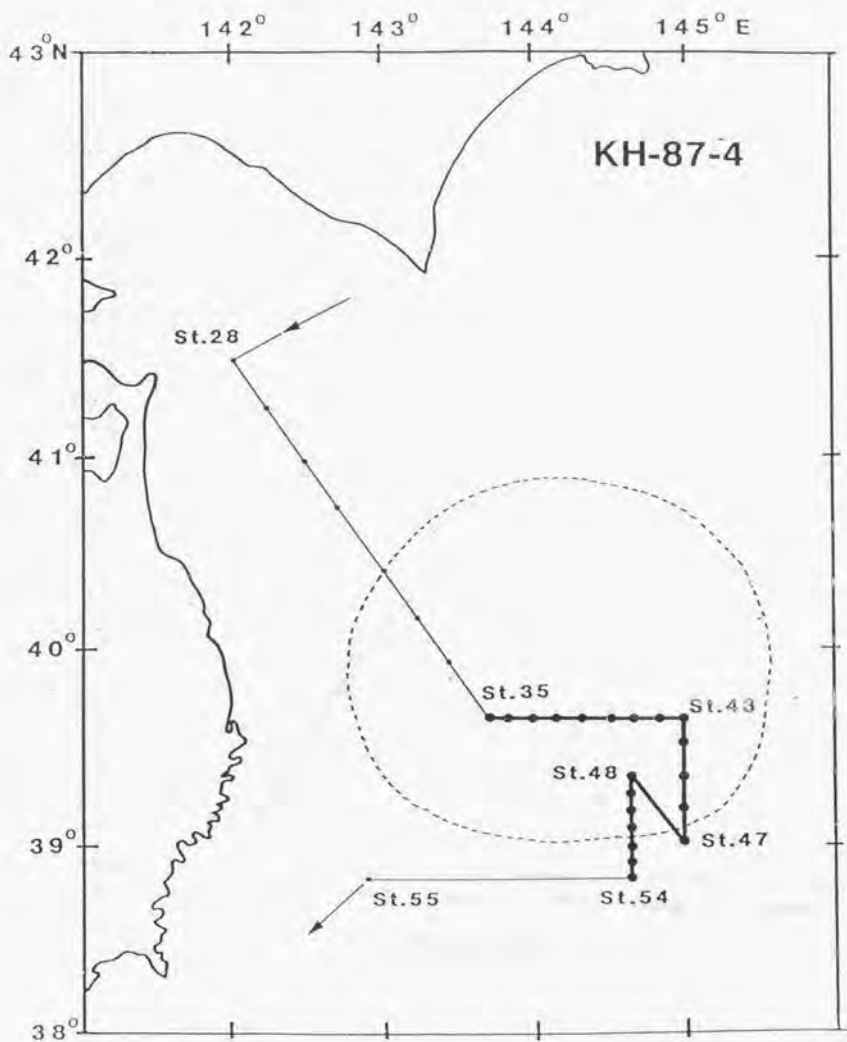


図3-3 KH-87-4次航海航跡(三陸沖、Leg 2の一部)

- : CTDによる物理環境計測点
- 点線範囲 : 衛星画像による暖水塊位置
- St.47~St.48 : XBT観測線(x87~x94)

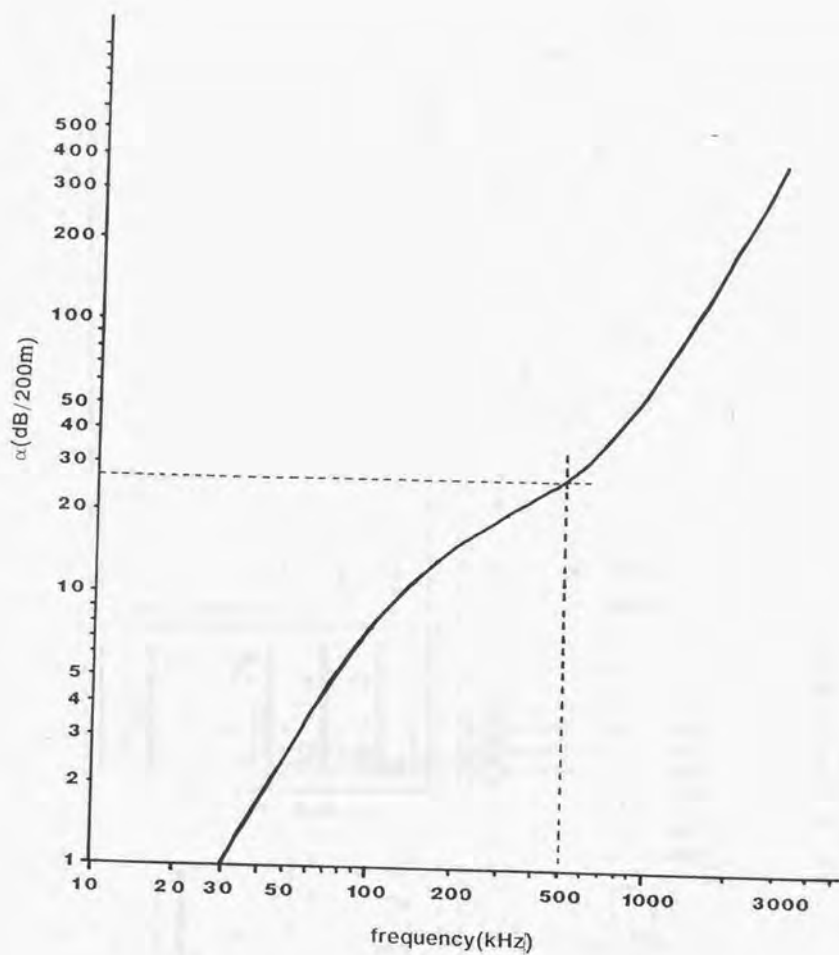


図4-1 周波数と吸収減衰量
 縦軸：距離200m当りの吸収減衰量 [dB]
 横軸：周波数 [kHz]

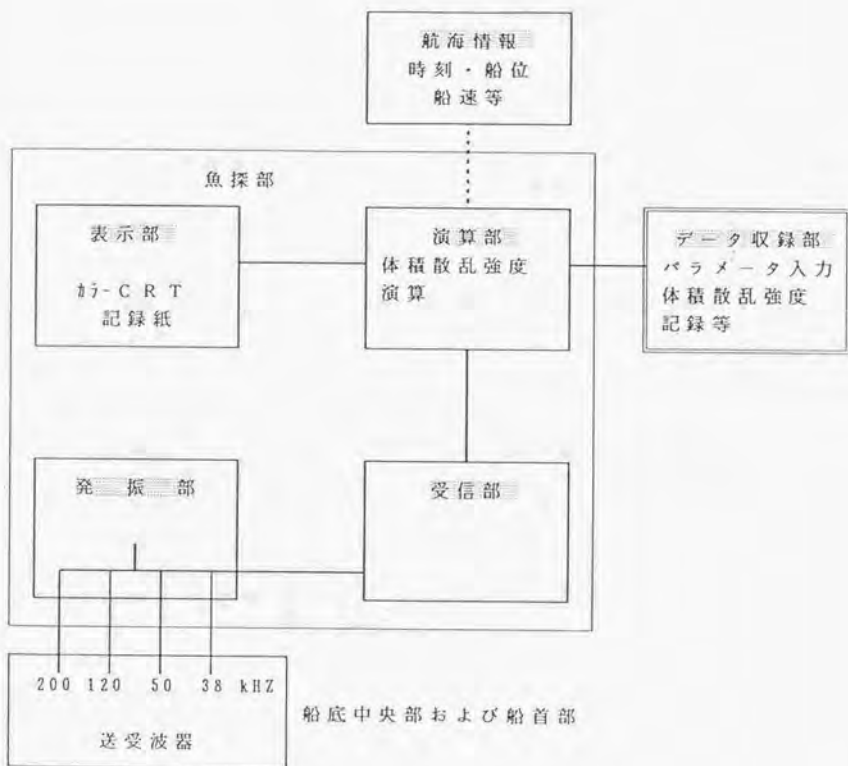


図4-3 ABIS・魚探部構成

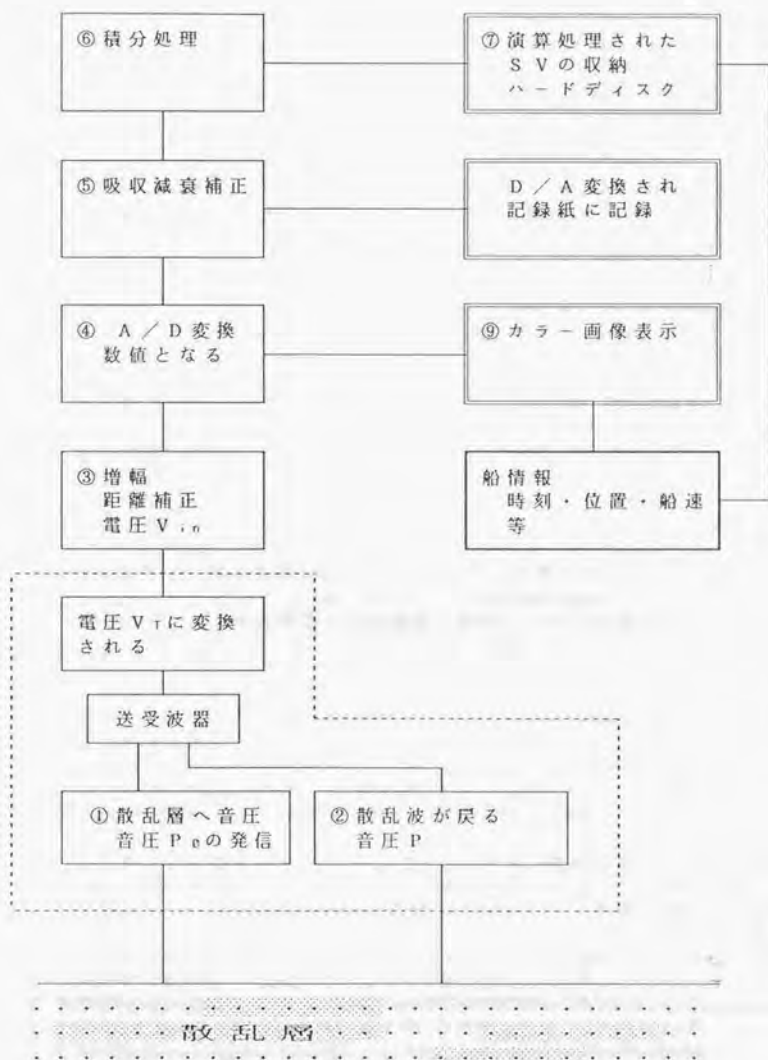


図4-4 ABISの魚探情報処理フローチャート
点線範囲は送受波器の入出力を示す

表4-1 ABIS校正結果

送波感度 (SE) 欄には本文の式 (4-3) の右辺における
 C_r との和を記してある (SE + C_r)

200 KHz 補正係数 $C_r = 0$ マイク感度 $MES = -220.0$

		送信電圧 V_{tx}	送波感度 SE	送波レベル SL	受波感度 ME	アンプゲイン EG
1	89.10.13	960	170.46	221.10	-194.44	50.0
2	90.08.30	1000	171.60	222.60	-194.90	50.0
3	91.04.17	900	170.74	220.80	-193.20	50.1

120 KHz 補正係数 $C_r = 0$ マイク感度 $MES = -226.0$

		送信電圧 V_{tx}	送波感度 SE	送波レベル SL	受波感度 ME	アンプゲイン EG
1	89.10.13	880	170.52	220.38	-194.44	50.0
2	90.08.30	880	169.39	219.25	-195.53	50.0
3	91.04.17	855	171.60	221.21	-194.86	49.5

50 KHz 補正係数 $C_r = -1.8$ マイク感度 $MES = -221.2$

		送信電圧 V_{tx}	送波感度 SE	送波レベル SL	受波感度 ME	アンプゲイン EG
1	89.10.13	1800	159.87	215.95	-182.84	40.0
2	90.08.30	1900	160.87	217.42	-182.87	40.0
3	91.04.17	1800	159.87	215.95	-183.63	40.0

38 KHz 補正係数 $C_r = 1.7$ マイク感度 $MES = -223.2$

		送信電圧 V_{tx}	送波感度 SE	送波レベル SL	受波感度 ME	アンプゲイン EG
1	89.10.13	1480	167.07	221.45	-178.80	40.0
2	90.08.30	1480	166.10	220.48	-179.89	40.0
3	91.04.17	1620	165.32	220.48	-179.55	40.0

表4-2 ABIS演算回路の補正值

	補正值
200kHz	0.0 [dB]
120kHz	0.2
50kHz	0.0
38kHz	0.5

表4-3(a) 計測時(KH-89-2)の設定パラメータ

周波数	200 kHz	120 kHz	50 kHz	38 kHz
出力 SL [dB]	222.2	220.5	218.3	222.7
受感度 ME [dB]	-193.2	-194.5	-182.8	-178.5
EG [dB]	50.2	50.1	40.0	40.0
等価損失 L _{eq} [dB]	-16.1	-19.1	-14.5	-20.5
吸収減衰 α [dB/km]	65.1	44.0	14.3	9.0
パルス幅 [ms]	1.8	1.8	1.8	1.8
音速 [m/s]	1500	1500	1500	1500

表4-3(b) ABIS校正値

送波感度(SE)欄には本文の式(4-3)の右辺におけるC_rとの和を記してある(SE+C_r)

	SE (V _r)	SL	ME + EG	SL + ME + EG
200 kHz	170.96(980)	221.75	-144.21	77.54
120 kHz	170.60(880)	220.46	-145.13	75.33
50 kHz	160.23(1850)	216.54	-143.13	73.41
38 kHz	166.22(1480)	220.60	-139.44	81.16

表4-3(c) ABIS校正誤差補正值

計測設定値は表4-3(a)のSL + ME + EG

総校正補正值は表4-2を総合した校正誤差補正值である

	計測設定値	校正値	校正誤差	総校正補正值
200 kHz	79.2	77.54	1.66	1.66
120 kHz	76.1	75.33	0.77	0.97
50 kHz	75.5	73.41	2.09	2.09
38 kHz	84.2	81.16	3.04	3.54

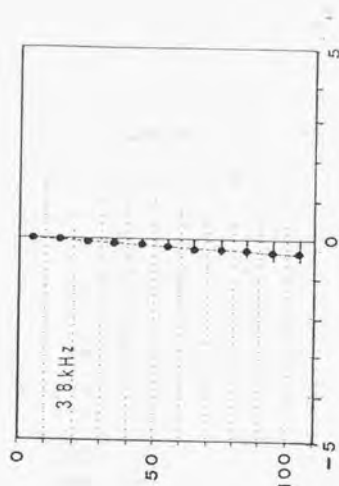
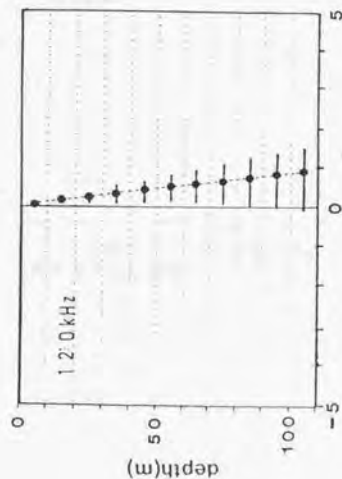
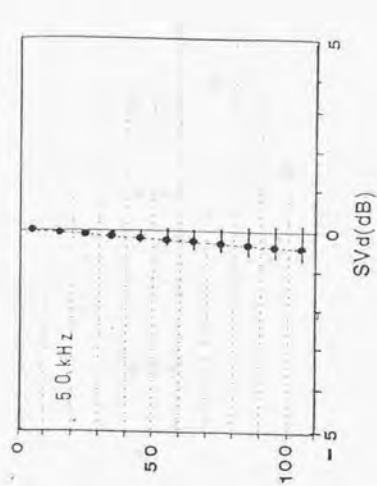
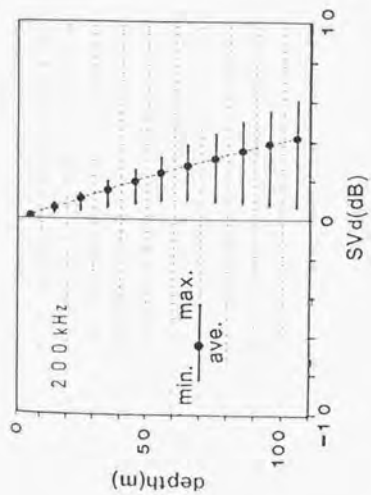


図4-5 音速および吸収減衰補正値
 縦軸：水深 [m]、横軸：補正値 SV_d [dB]
 ●：全CTD観測点から得た平均補正値
 —：補正値の最大最小範囲

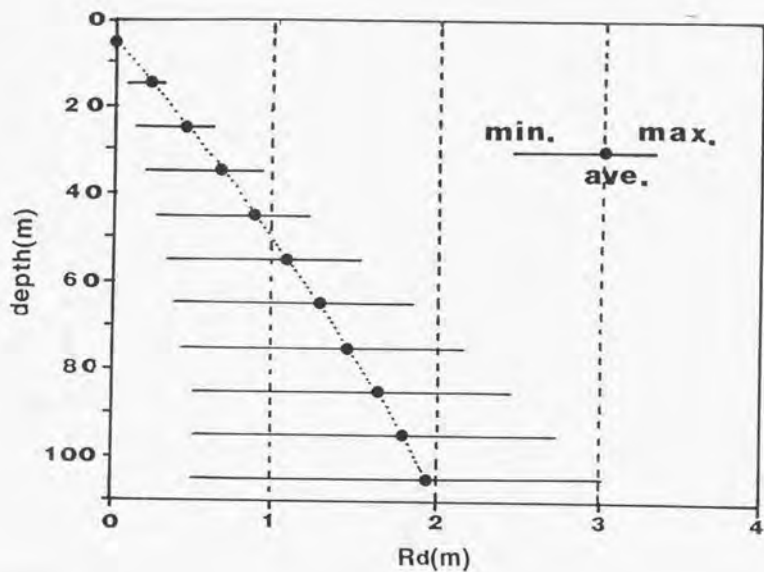


図4-6 水深誤差

縦軸：水深 [m]、横軸：誤差 R_d [m]
 ●：全CTD観測点から得た平均補正值
 —：誤差の最大最小範囲

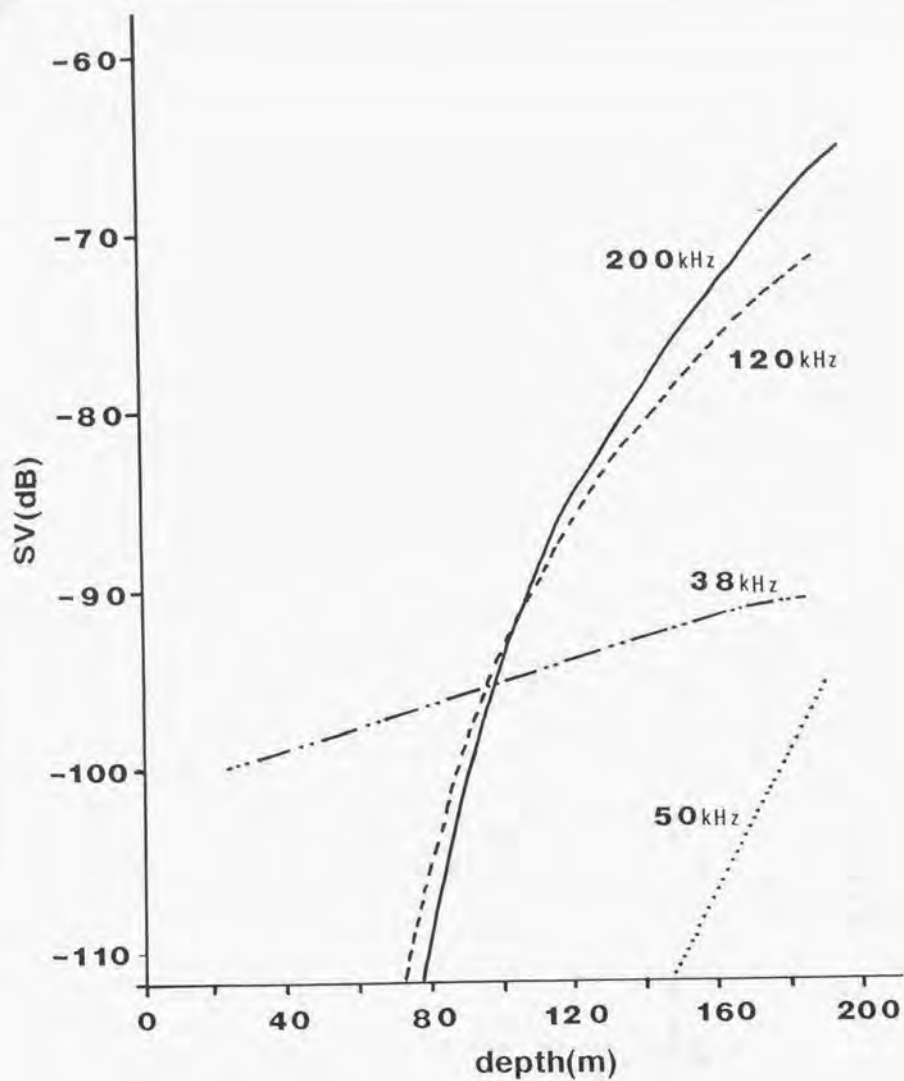


図4-7 ABIS魚探の定常ノイズレベル(4周波数)

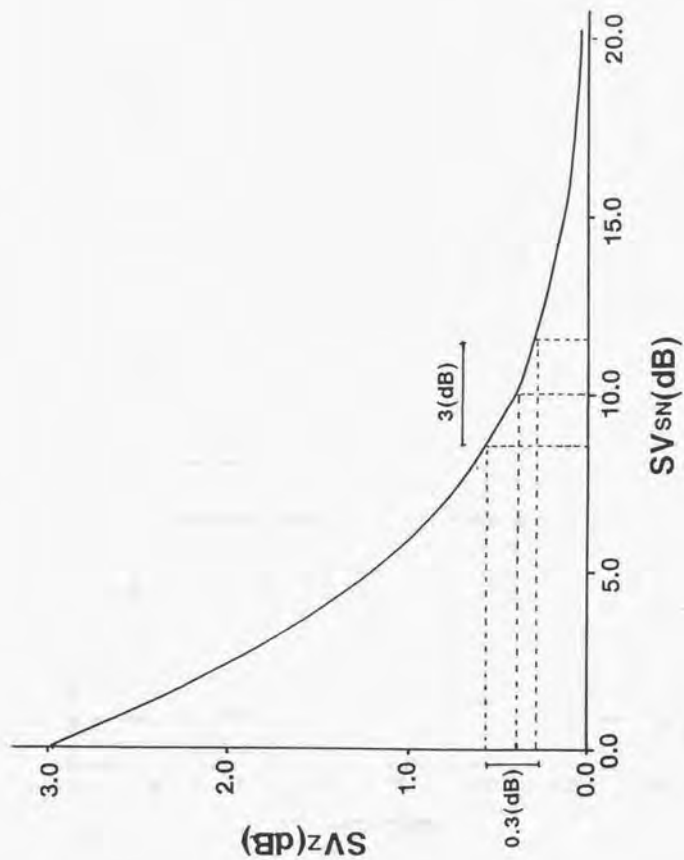


図4-8 散乱層情報とノイズレベルとの差による補正量
 縦軸：補正量 SV_z [dB]
 横軸：散乱層情報とノイズレベルとの差 SV_{SN} [dB]

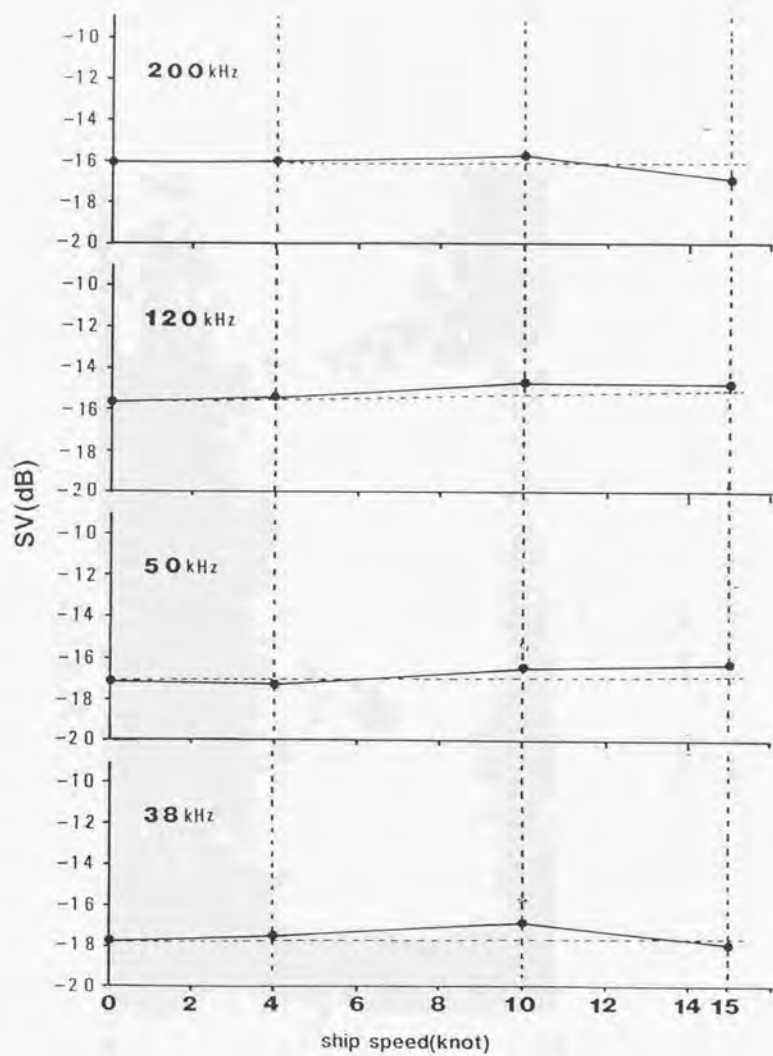


図4-9 ABISの航走減衰量(4周波数)
 縦軸: 海底の平均体積散乱強度相当レベル(相対値) [dB]
 横軸: 船速 [knot]

50kHz

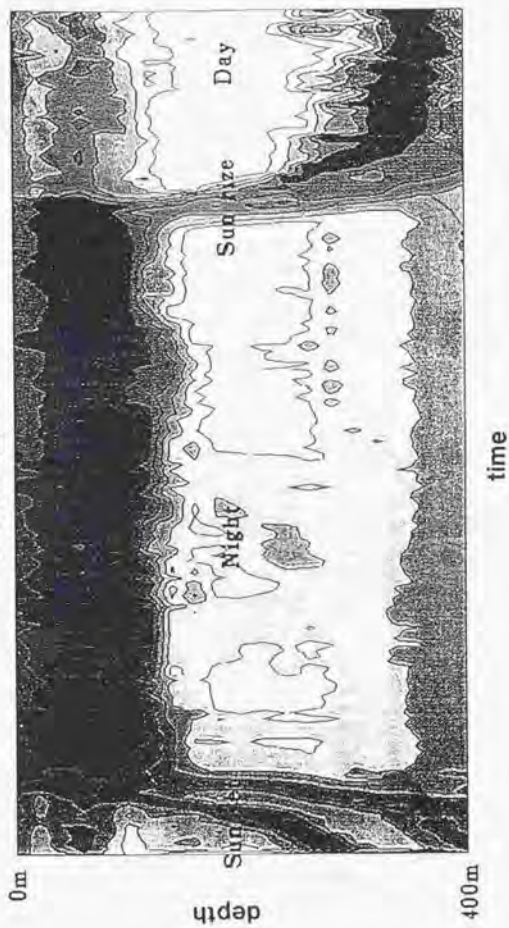


図5-1 散乱層の日周鉛直移動(50kHz)
縦軸:深度[m]、横軸:時間経過
黒色が強いほど体積散乱強度が大きいことを示す

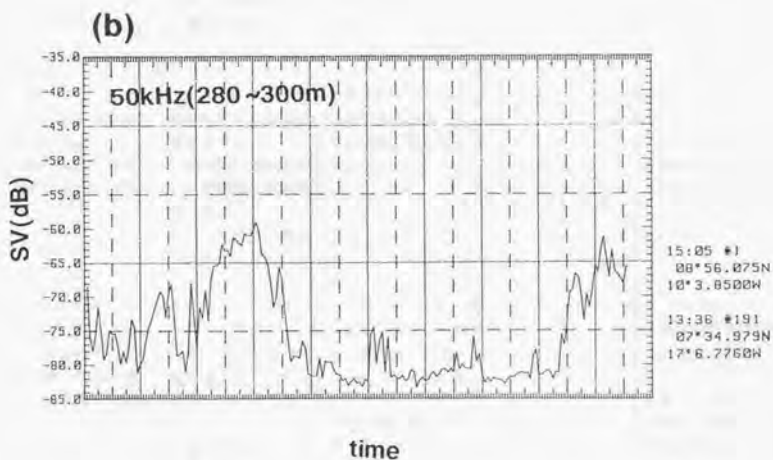
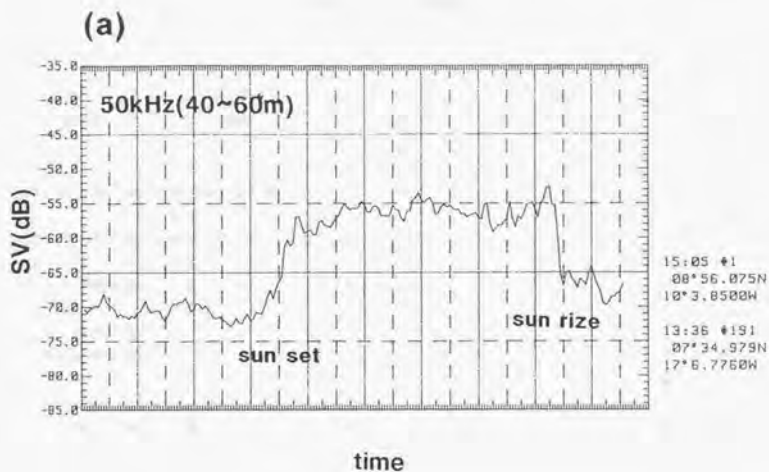


図5-2 散乱層の日周鉛直移動に伴う体積散乱強度の変化(50kHz)
縦軸:体積散乱強度[dB]、横軸:時間経過
上段:40~60m層、下段:280~300m層

表 5-1 散乱層の分布特徴 (太平洋 1)

太平洋-1

計測点	I: 夜間の分布	II: 昼間の分布	III: 昼夜比較	IV: 物理環境対比	V: 周波数特性
A 175° E	<p>上層の10~20mは濃い散乱層が分布する。</p> <p>中層は薄い散乱層が分布する。</p> <p>下層は薄い散乱層が分布する。</p> <p>20m以深は一様な薄い散乱層である。</p>	<p>上層10~30mは夜間の分布と同じである。</p> <p>中層は散乱層の分布が見えない。</p> <p>下層は夜間の分布と同じである。</p>	<p>上層は変化無し。</p> <p>中層は、昼夜変動が激しい。</p> <p>下層は変化無し。</p>	-----	<p>夜間は、周波数相互の差は小さい。</p> <p>昼間は、中層で高周波数(120kHz)が低周波数より高くなる。</p>
B 160° W	<p>上層~下層まで濃い散乱層が分布する。</p> <p>全層に渡り一様である。</p>	<p>上層の10~20mはA同様濃い散乱層が分布する。</p> <p>上層下部~中層上部散乱層が見えなくなる。</p> <p>中層・下層は薄い散乱層が分布する。</p>	<p>上層上部は変化無し。</p> <p>上層下部~中層上部の変化が激しい。</p> <p>下層は、変化が激しい。</p>	-----	<p>夜間は、周波数相互の差は小さい。</p> <p>昼間は、下層で高周波数が低周波数より高くなる。</p>
C 130° W	<p>上層10~20mは非常に濃い散乱層が分布する。</p> <p>上層下部~下層まで濃い散乱層が分布する。</p>	<p>上層10~20mに非常に濃い散乱層が分布する。</p> <p>上層下部~中層までやや濃い散乱層が分布する。</p> <p>下層には薄い散乱層が分布する。</p>	<p>上層上部は変化はないが深度の増加とともに変化が激しくなる。</p>	-----	<p>夜間は10~20mの周波数差は大きい、以深はあまり差は無い。</p> <p>昼間は、下層で高周波数が低周波数より高くなる。</p>
	<p>3地点はよく類似した分布である。</p> <p>散乱層の濃さは東へ行くほど濃くなる。</p>	<p>中央で中層にあった分布の見あたらない層が東へ行くとともに上が130° Wでは無くなる。</p> <p>下層の散乱層の中心が東へ行くほど上に上がる。</p>	<p>中央での激しい変動層が東へ行くと上昇し130° Wでは無くなる。</p> <p>下層の変動層が東へ行くほど上昇する。</p>	-----	<p>夜間の周波数特性は3地点とも良く類似している。</p> <p>昼間は、175° Eと160° Wの散乱層の見られない位置の周波数特性は異なるが、下層から上昇する薄い散乱層は160° Wと130° Eで類似した周波数特性を示す。</p>

表 5 - 2 散乱層の分布特徴 (太平洋 2)

太平洋 - 2

	I : 夜間の分布	II : 昼間の分布	III : 昼夜比較	IV : 物理環境対比	V : 周波数特性
St. 3	上層 10 ~ 20 m に濃い散乱層が分布する。 上層下部 ~ 下層まで散乱層が見られない。	-----		20 数 m まで鉛直混合層が有り、混合層内に散乱層の分布が集中する。	上層は、低周波数の方が高周波数より大きい傾向であるが中層から下層にかけて反対の現象となる。 下層で高周波数と低周波数の差が大きくなる。
St. 4	上層 ~ 中層下部まで濃い散乱層が分布する。 中層下部 ~ 下層は散乱層が見られない。	上層は濃い散乱層が分布する。 中層 ~ 下層は薄い散乱層の分布となる。	上層から中層下部の散乱層は昼間薄くなる。 中層下部 ~ 下層は反対に昼間薄い散乱層が分布する。	昼夜間共上層の鉛直混合層および水温塩分躍層に散乱層の分布が集中する。	下層で 120 kHz が他の周波数より大きい特性がある。
St. 5	上層は非常に濃い散乱層が分布する。 中層 ~ 下層は散乱層が見られない。	上層に濃い散乱層が分布する。 上層下部 ~ 下層は散乱層が見られない。	昼夜の分布にほとんど差がない。 ただし、上層は夜間が昼間に比して濃いが、中層以深は反対の傾向である。	薄い鉛直混合層につづく水温塩分躍層に散乱層の分布が集中する。	昼夜間共中層以深で高周波数と低周波数の差が大きくなる。 120 kHz に特性がある。
	上層および中層に散乱層の分布が集中し下層には分布が見られない。	上層に散乱層の分布が集中し、中層下層にごく薄い散乱層が分布する。	上層 ~ 中層にかけて夜間層は濃くなる。 反対に下層は散乱層の分布はごく薄い。昼間の方が多少現われる。	昼夜間共水温塩分構造と散乱層の分布は対応する。	昼夜間共中層以深での周波数差は大きく、特に 120 kHz に特徴がある。

表5-3 散乱層の分布特徴(カリブ海・メキシコ湾)

カリブ海・メキシコ湾

	I: 夜間の分布	II: 昼間の分布	III: 昼夜比較	IV: 物理環境対比	V: 周波数特性
St. 6	上層～中層に薄い散乱層が分布する。 中層～下層はやや濃い散乱層が分布する。 全層に分布し、あまり濃さの変化はない。	上層に濃い散乱層が分布する。 上層下部では散乱層が見られなくなる。 中層～下層は薄い散乱層が分布する。	上層は変化がない。 上層下部～下層は一様に薄くなる。	弱い塩分躍層が30mに有り、弱い水温躍層が80mにある。 昼間の散乱層分布はこのふたつの躍層と関連し、両躍層の間で薄くなる。	中層で高周波数と低周波数および低周波数相互の差が大きくなる。
St. 7	上層～中層に薄い散乱層が分布する。 中層～下層に濃い散乱層が分布する。 St. 6に類似した分布を示す。	上層～下層に薄い散乱層が分布する。 全層ではほぼ様な分布である。	夜間全体的に散乱層は濃くなる。 特に中層以深に変化がある。	95mに弱い塩分躍層があり、以深の散乱層分布に影響している。	夜間の下層に周波数特性の変化がある。
	海域が異なるが散乱層の分布は良く類似している。 全層あまり変化のない分布をする。	St. 6は上層の上部下部で散乱層の分布が急変するが、St. 7にはない。 このことを除けば、昼間も中層～下層に薄い散乱層が分布する類似点がある。	上層部を除けば昼夜間の変化は夜間に比して一様に薄くなる類似点がある。	両海域共弱い物理構造に対応した弱い分布の変化がある。	夜間の周波数特性は類似している。 昼間も高周波数と低周波数の特性変化はやや類似している。

表 5 - 4 散乱層の分布特徴 (大西洋)

大西洋

	I : 夜間の分布	II : 昼間の分布	III : 昼夜比較	IV : 物理環境対比	V : 周波数特性
St. 8	上層～下層に薄い散乱層が分布する。中層下部に弱い分布の中心がある。	上層～中層は散乱層の分布が見られなくなる。下層でごく薄い散乱層の分布がある。	特に中層に変化が見られ、昼間はほとんど散乱層の分布は見られない。	55 mに弱い躍層があり、昼間の分布に対応している。	夜間の中層で50 kHzが他の周波数に比して大きくなる。夜間は躍層の上下で周波数特性が複雑に変化する。上層で38 kHzが大
St. 9	上層は薄い散乱層が分布する。中層にやや濃い散乱層が分布する。下層に薄い散乱層が分布する。	上層に薄い散乱層が分布する。中層は散乱層の分布が見られない。下層にごく薄い散乱層が分布する。	特に中層に変化が見られ、昼間は上層上部を除くとほとんど散乱層の分布が見られない。	85 mに躍層があり、昼間の分布に対応している。	夜間の中層で50 kHzが他の周波数に比して多少大きくなる。夜間は周波数特性が複雑に変化する。上層で38 kHzが大きい。
St. G2	上層は薄い散乱層が分布する。上層下部～中層上部にやや濃い散乱層が分布する。下層は薄い散乱層が分布する。	上層は薄い散乱層が分布する。中層はごく薄い散乱層が分布する。下層は薄い散乱層が分布する。	上層上部は変化が見られない。特に中層に変化がみられる。下層はあまり変化が見られない。	85 mに水温塩分躍層があり、この躍層下部に昼間の薄い散乱層が分布する。	昼夜間共上層で38 kHzが大きい特性がある。
	上層は薄い散乱層が分布する。中層にやや濃い散乱層が分布する。全層に渡り散乱層の分布は薄い。	西側2点はよく類似し、上層上部及び下層に散乱層が見られるが中層はほとんど見られない。東側も極端ではないが中層が散乱層の分布が見あたらない層となる。	中層で大きな分布の変化が見られる。	鉛直混合が中層～下層まで発達し、混合層の上下で散乱層の分布変化が見られる。	西側2点は、良く類似した特性で、複雑な特性変化がある。上層上部の50 kHzが大きい特性がある。

表 5-5 散乱層の分布特徴 (地中海)

地中海

	I : 夜間の分布	II : 昼間の分布	III : 昼夜比較	IV : 物理環境対比	V : 周波数特性
St. 13	上層に非常に濃い散乱層の分布がある。 中層に薄い散乱層の分布がある。 下層に非常に薄い散乱層の分布がある。 上層~下層へ徐々に散乱層の濃さが薄くなる。	-----	-----	50 mに水温塩分躍層があり、この上部に散乱層の分布が見られる。	躍層上部に低周波数が大きくなる特性が見られる。
St. 14	上層上部に薄い散乱層が分布する。 上層下部は散乱層が見られない。 中層~下層は薄い散乱層が分布する。	上層~中層上部は散乱層の分布が見られない。 中層下部~下層に薄い散乱層が分布する。	上層下部では低周波数において夜間より昼間の方が散乱層の出現がわずかが見られる。	鉛直混合が200 mまで発達しており散乱層との関連はない。	昼夜間で上層下部の低周波数での差が大きい特性が見られる。
St. 15	上層~中層はごく薄い散乱層が分布する。ただし、38 kHzのみ上層上部に濃い散乱層が見られる。 下層には薄い散乱層が分布する。	上層上部に薄い散乱層が分布する。ただし、38 kHzは濃い。 上層下部~下層はさんらんそうの分布は見られない。	上層は夜間より昼間の方が散乱層は濃い。 中層~下層は極端に変化する。	70 mに弱い水温塩分躍層があり、夜間はこの下部に薄い散乱層が見られる。 昼間は関連が見られない。	38 kHzに特性が見られ他の周波数とは異なった変化である。
	東側の2点はやや類似した分布を示し中層下部~下層が散乱層の分布層となる。	東側2点の分布は異なる。	昼間の分布に差があり共通した変化は見られない。	St. 14には環境変動が無く関連は見られないが他の2点は躍層での分布変化が見られる。	38 kHzに特徴があり他の周波数とは異なった変化が見られる。

表5-6 散乱層の分布特徴（インド洋・南シナ海）

インド洋（アラビア海・ベンガル湾）

計測点	I：夜間の分布	II：昼間の分布	III：昼夜比較	IV：物理環境対比	V：周波数特性
St. 16	表層～下層に濃い散乱層が分布する。 全層一様に分布する。	上層上部に濃い散乱層が分布する。 上層下部～下層に薄い散乱層が分布する。	上層上部は昼間の方が濃い分布をする。 上層下部～下層は昼間は薄くなるが、変化は小さい。	80mに水温塩分躍層が見られるが散乱層の分布に影響しない。	上層上部で50kHzが小さくなる特性がある。
St. 18	上層は薄い散乱層が分布する。 中層～下層は濃い散乱層が分布する。	-----	-----	100mに水温塩分躍層が見られるが散乱層の分布に影響しない。	上層上部に38kHzが大きくなる特性がある。
St. 19	上層に濃い散乱層が分布する。 中層～下層に非常に濃い散乱層が分布する。	上層～下層に濃い散乱層が分布する。	上層上部にはあまり変化がみられない。 上層上部～下層は昼間、深度増加と共に差が大きくなる。	100mに水温塩分躍層が見られるが散乱層の分布に影響しない。	夜間躍層下部で特性が変化する。 夜間は高周波数と低周波数で変化に差がある。
St. 20	上層は濃い散乱層が分布する。 中層～下層は非常に濃い散乱層が分布する。	上層上部に濃い散乱層が分布する。 上層下部～中層上部は散乱層は見られない。 中層下部～下層は下層上部に分布の中心を持つ薄い散乱層が分布する。	上層上部は変化が見られない。 中層は昼夜間の分布に大きな差がみられない。 下層上部の昼夜差が小さくなるが、下部で大きな差が見られる。	上層に薄い混合層があり、ここでは昼夜の分布変化はない。 80mに水温塩分躍層があり、躍層での分布変化はこの上下の変化に比して小さい。	昼間全層で200kHzが他の周波数に比して小さい特性がある。 夜間は40mを境に特性が変化する。
St. 21	上層は濃い散乱層が分布する。 中層は非常に濃い散乱層が分布する。 下層は濃い散乱層が分布する。	上層は濃い散乱層が分布する。 中層上部は薄い散乱層が分布する。 中層下部～下層上部に濃い散乱層が分布する。 下層下部に薄い散乱層が分布する。	上層上部はあまり変化がない。 上層上部～中層は変化が大きい。 下層上部の変化は小さくなるが下部は大きくなる。	塩分躍層が40mにあり、水温躍層が80mにある。 散乱層の分布変化はこの両躍層の間で大きい。	夜間は中層で50kHzが大きくなる特性がある。 昼間は塩分躍層、水温躍層で特性が変化する。
St. SB4	上層～中層に濃い散乱層が分布する。 下層にやや濃い散乱層が分布する。	上層上部に濃い散乱層が分布する。 中層～下層は薄い散乱層が分布する。 下層はかなり薄い散乱層が分布する。	上層上部は昼間の分布の方が濃い。 中層～下層は変化の差が一樣になる。	混合層が40mにあり、水温躍層が95mにある。 混合層内での変化は小さい。 躍層下は昼夜で薄い	夜間は一樣な特性であるが周波数間の差が大きい。 昼間は、50kHzは大きい他周波数は差が小さい。

表5-6 散乱層の分布特徴 (インド洋・南シナ海一つづき)

計測点	I: 夜間の分布	II: 昼間の分布	III: 昼夜比較	IV: 物理環境対比	V: 周波数特性
	<p>上層上部に濃い散乱層が分布する。 中層～下層は濃いまたは非常に濃い散乱層が分布する。</p>	<p>上層上部に濃い散乱層が分布する。 *アラビア海 以深は薄い散乱層が分布する。 *赤道 以深は濃い散乱層が分布する。 *ベンガル湾 上層下部～中層上部で薄い層が分布する</p>	<p>海域により分布は異なるが昼夜間共に散乱層の分布は濃い。</p>	<p>アラビア海・赤道は混合層が発達し深い。環境変化似たいする散乱層分布への影響がない。 ベンガル湾は東の2点では、混合層が浅くなる。 躍層内での分布変化がある。</p>	<p>統一した周波数特性は50kHzの値が昼夜間全層で大きい。</p>
南シナ海					
St. 22	<p>上層～下層に濃い散乱層が分布する。</p>	<p>上層～中層上部に濃い散乱層が分布する。 中層下部～下層は徐々に散乱層の分布は薄くなる。</p>	<p>上層～中層上部は昼夜変化が見られない。 中層下部～下層は徐々に差が大きくなる。</p>	<p>混合層が50mまで続き、この層では昼夜での散乱層分布に変化が見られない。</p>	<p>昼夜共に全層で周波数間の差に変化があまり見られない特性がある。</p>

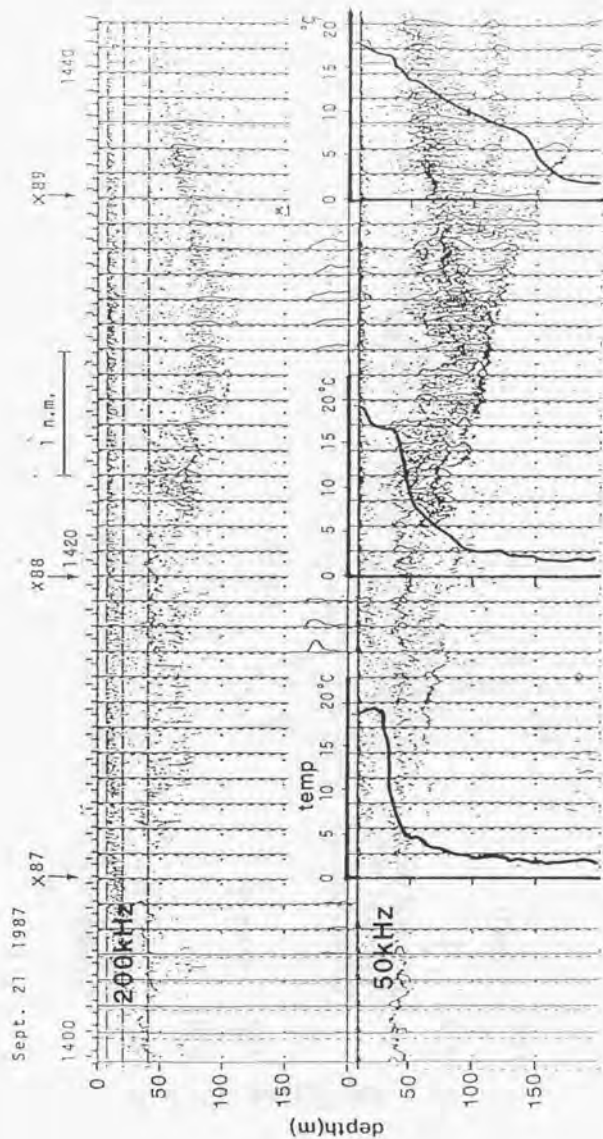


図5-3 三陸沖暖水塊水温フロント域の散乱層分布と水温構造(1)

縦軸：深度[m]、横軸：距離

上段：200kHz、下段：50kHz

XBT観測点は図上部に矢印で表示

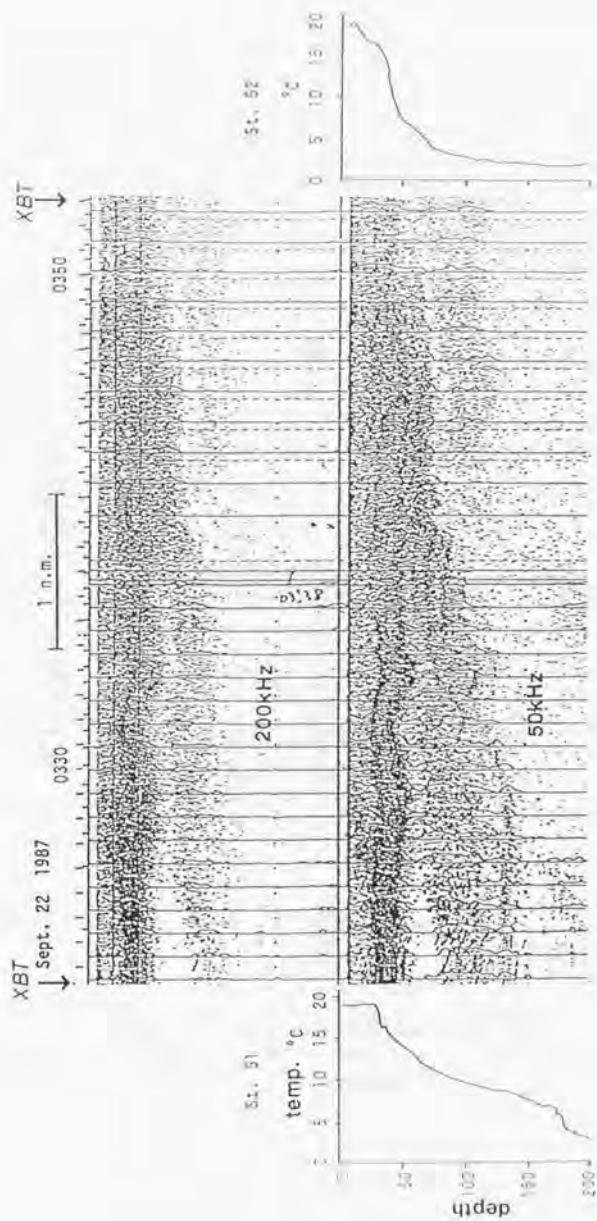


図5-5 夜間のフロント域における散乱層分布と水温構造
 縦軸：深度 [m]、横軸：距離
 上段：200 kHz、下段：50 kHz
 XBT観測点は図上部に矢印で表示

KH-91-4 50m

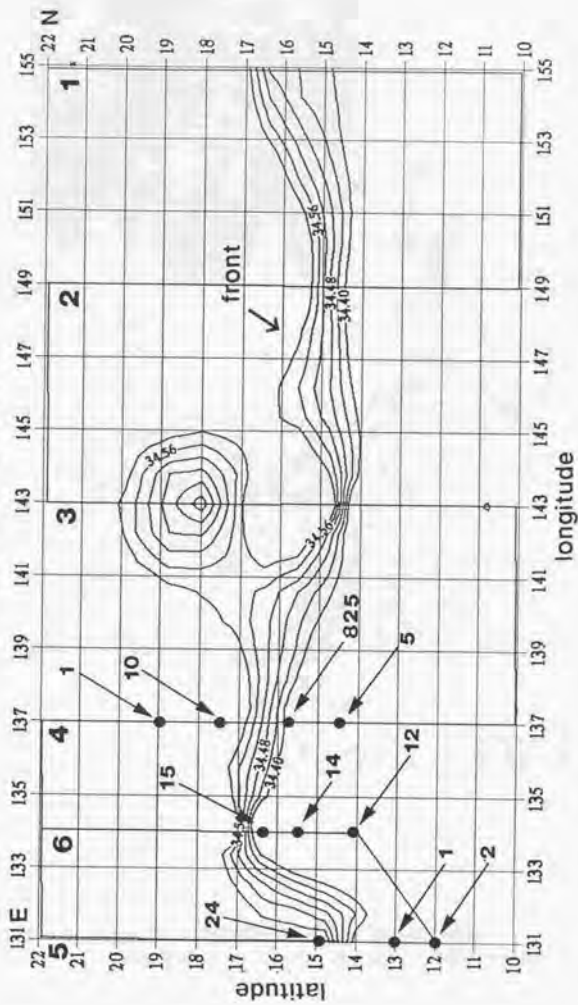


図5-6 ニホンウナギ産卵場周辺海域の塩分フロントとウナギ稚生採集数

● : ウナギ稚生採集点 (数値は採集数)
 中央を横断する線は塩分等濃度線 (水深50 m) で
 フロント位置を示す

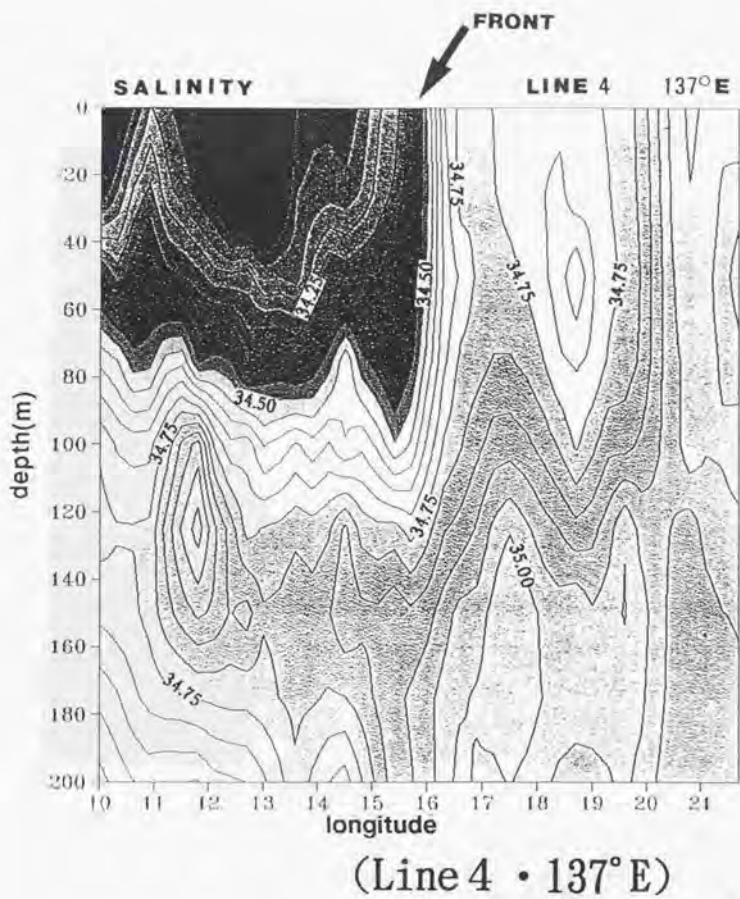


図5-7 ニホンウナギ産卵場周辺海域の塩分鉛直構造
計測線は図6-6に示した第4線、黒い部分が低塩分域

KH-91-4

ST. A-1 1991/06/17-18:44

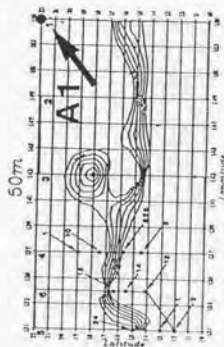
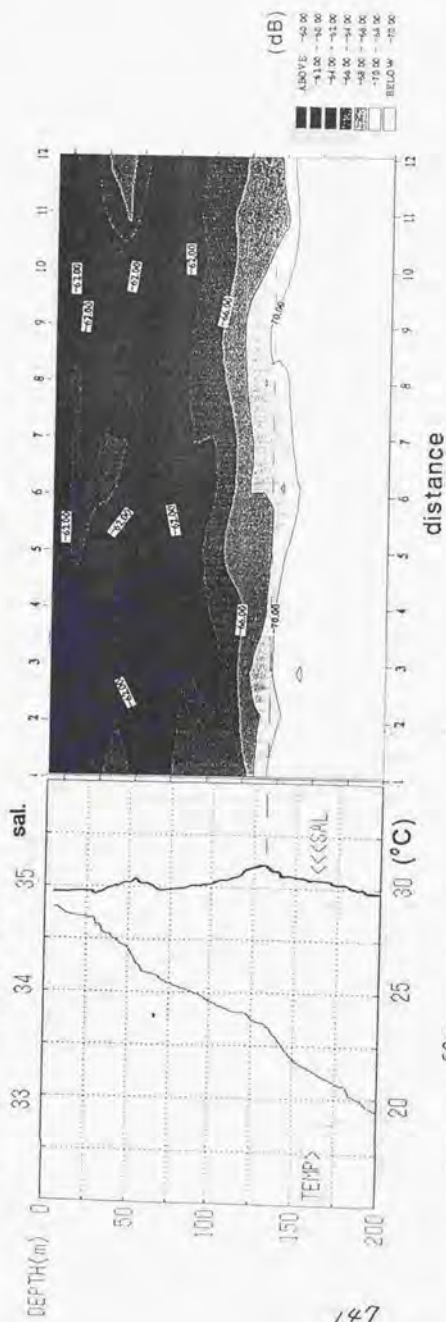


図5-8 高塩分域の散乱層分布(夜間)と海洋物理環境(水温、塩分)
 図右: 黒色が強いほど体積散乱強度が大きいことを示す

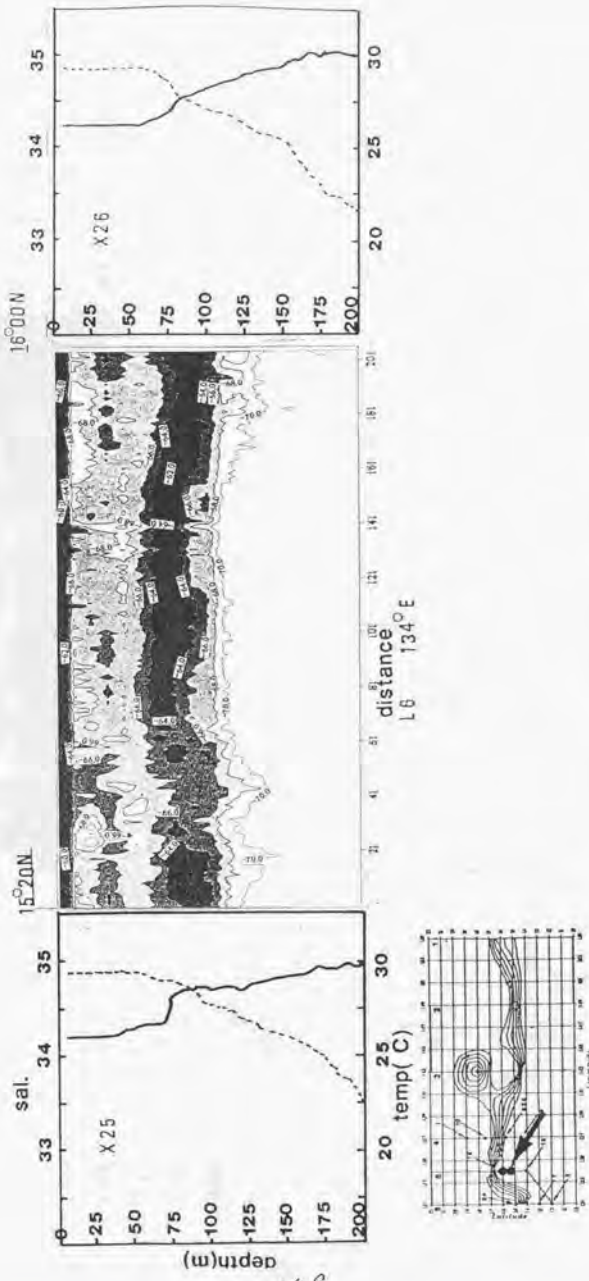


図5-10 フロント域(低塩分側・夜間)の散乱層分布(昼夜)と海洋物理環境(水温、塩分)
 図中央:黒色が強いほど体積散乱強度が大きいことを示す
 左右の水温・塩分は図中央の両端点での計測
 図左右の水温・塩分は図中央の両端点での計測

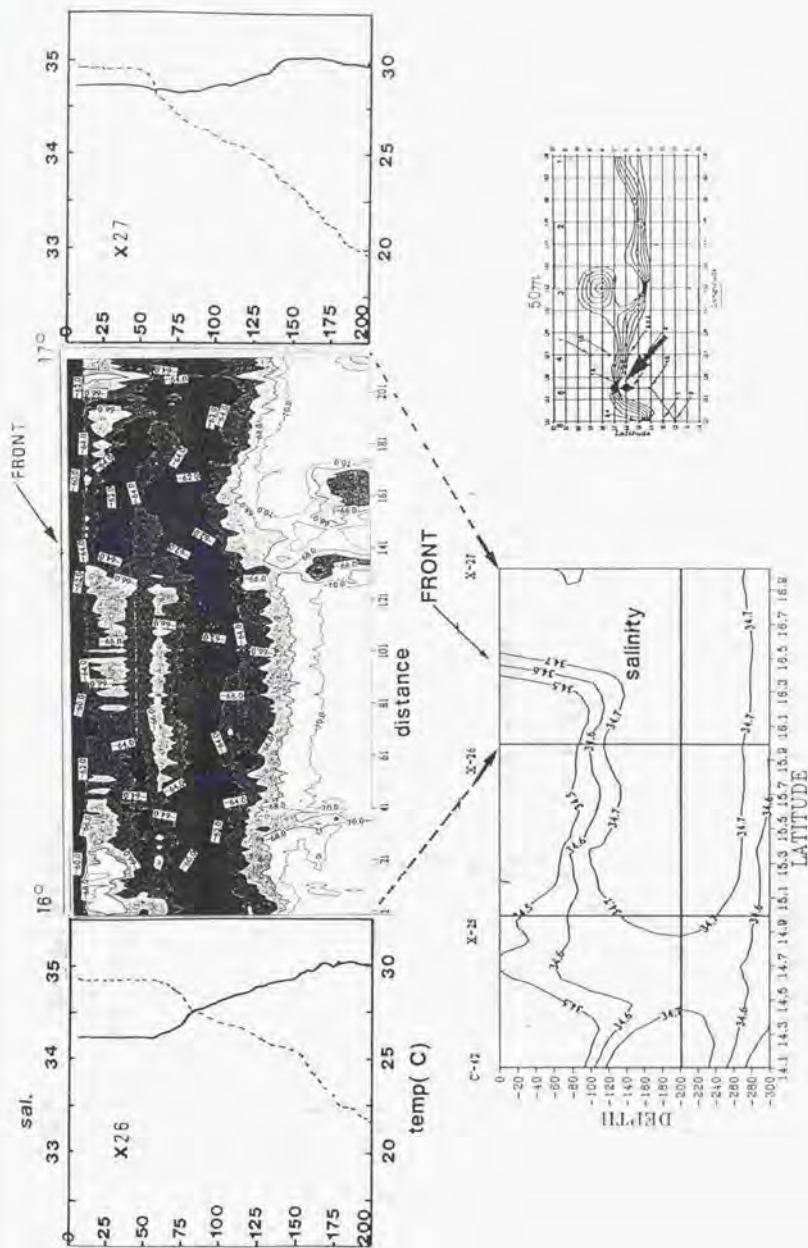


図5-11 フロント面側での散乱層分布(夜間)と海洋物理環境(水温、塩分)
 左右の水温・塩分は図中央の両端点での計測
 図左右の水温・塩分は図中央の両端点での計測
 図下部は塩分の鉛直分布構造を示す

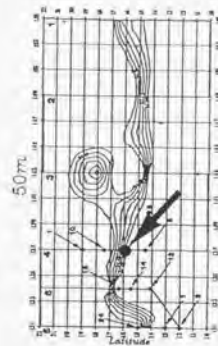
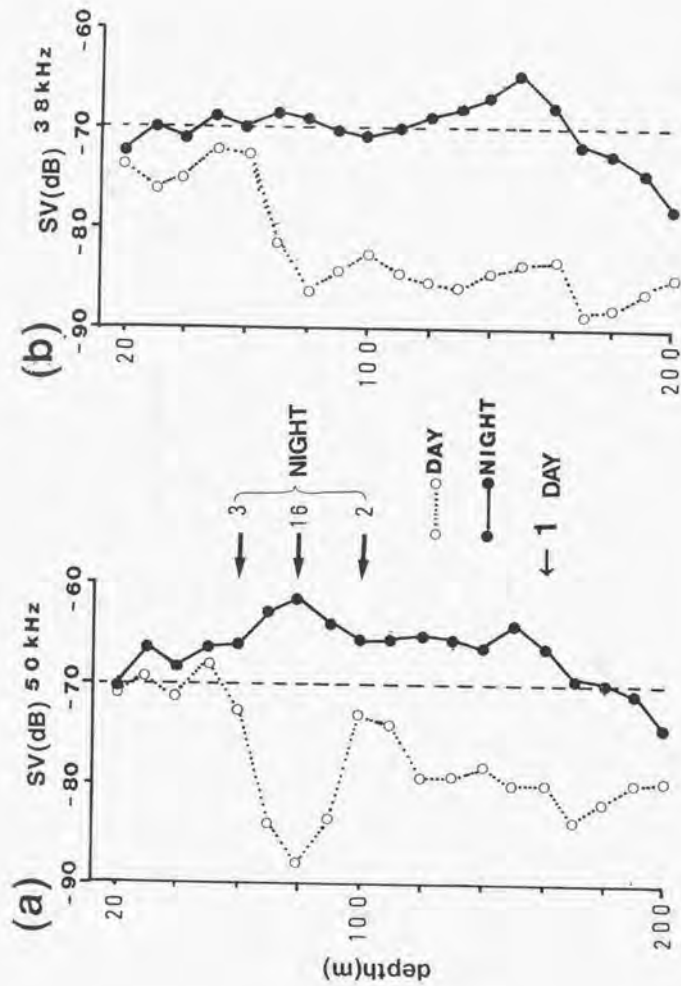


図5-1.2 ウナギ幼生採集時の昼夜の平均体積強度分布
 ● : 夜間、○ : 昼間
 (a) : 50 kHz、(b) : 38 kHz
 矢印および数値はウナギ幼生採集層および採集数を示す

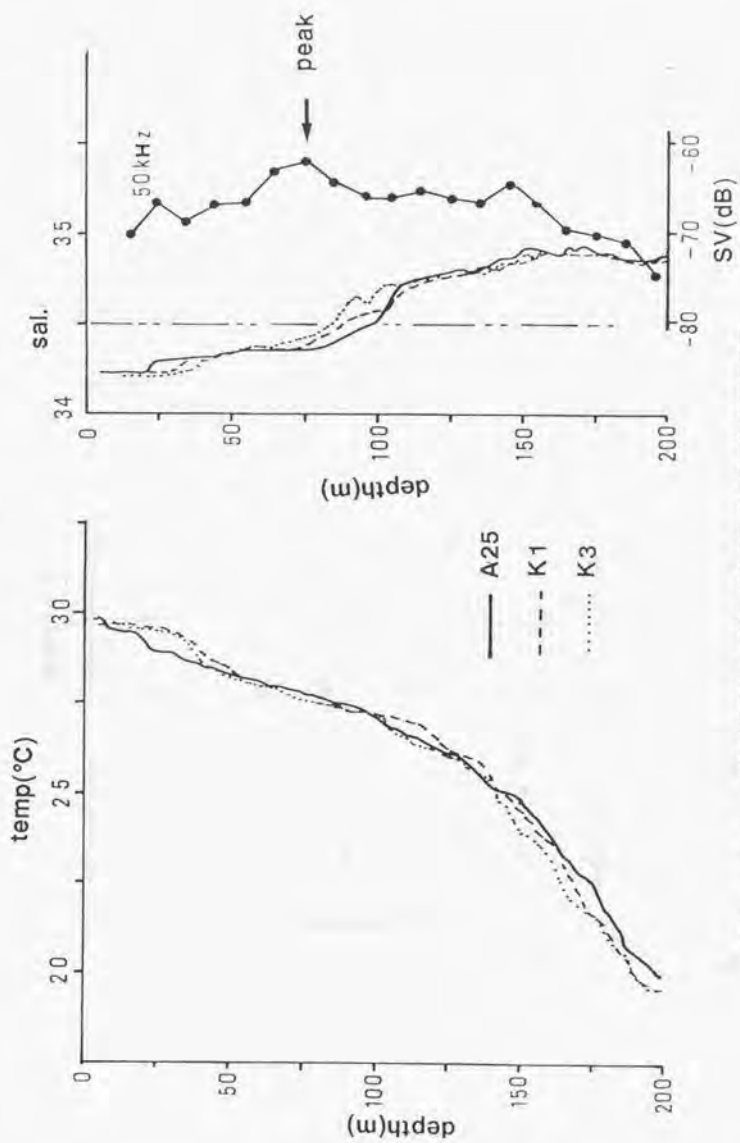


図5-13 ウナギ幼生採集時の平均体積散乱強度と海洋物理環境構造
 図右：50kHzによる平均体積散乱強度と3測点の塩分
 図左：3測点の水温

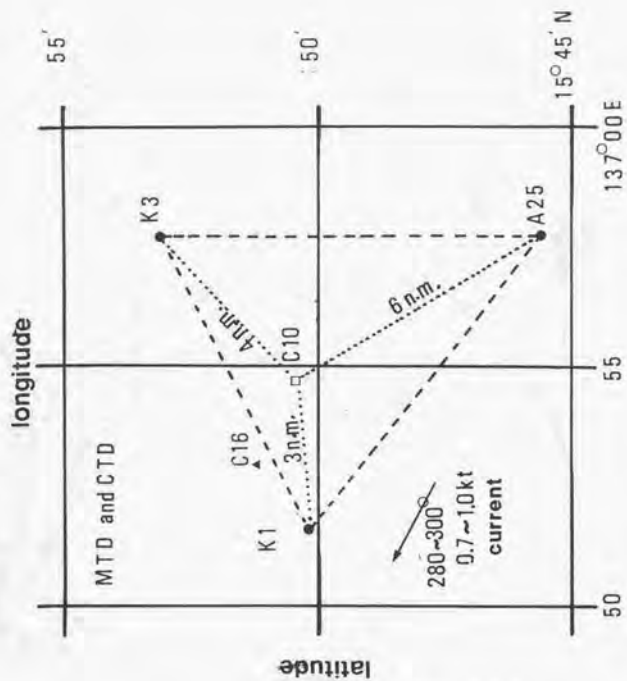


図5-14 フロント域のMTD或網とCTD計測
 □: MTD (夜間)、▲: MTD (昼間)、●: CTD計測点
 矢印は平均的な流向を示す

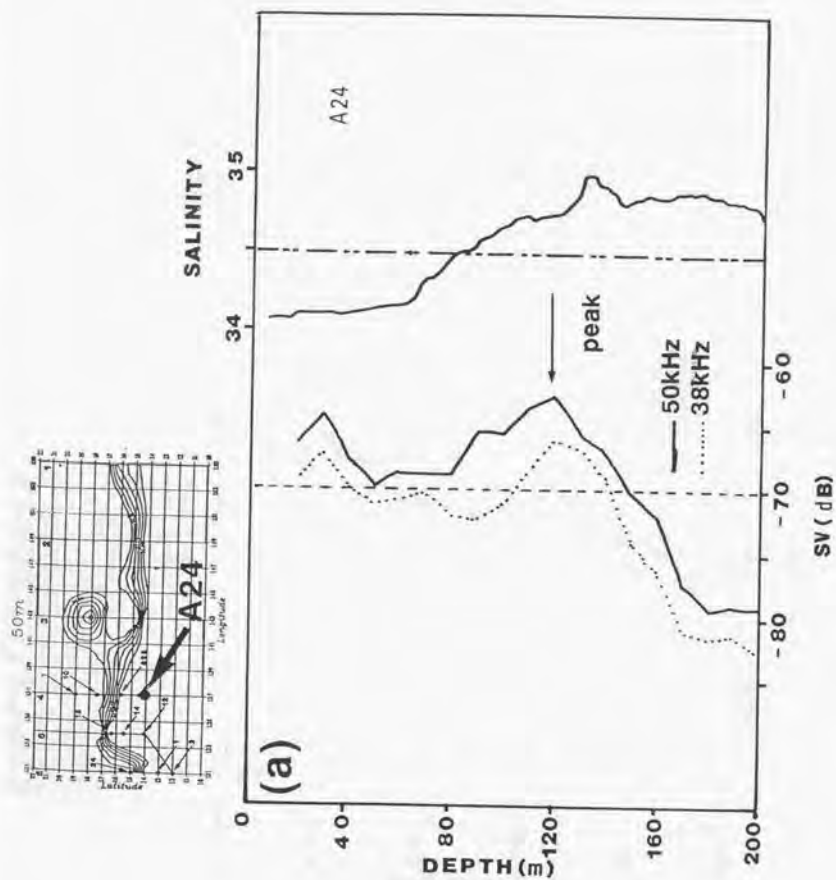


図5-15 (a) フロント周辺域の平均体積散乱強度と塩分構造

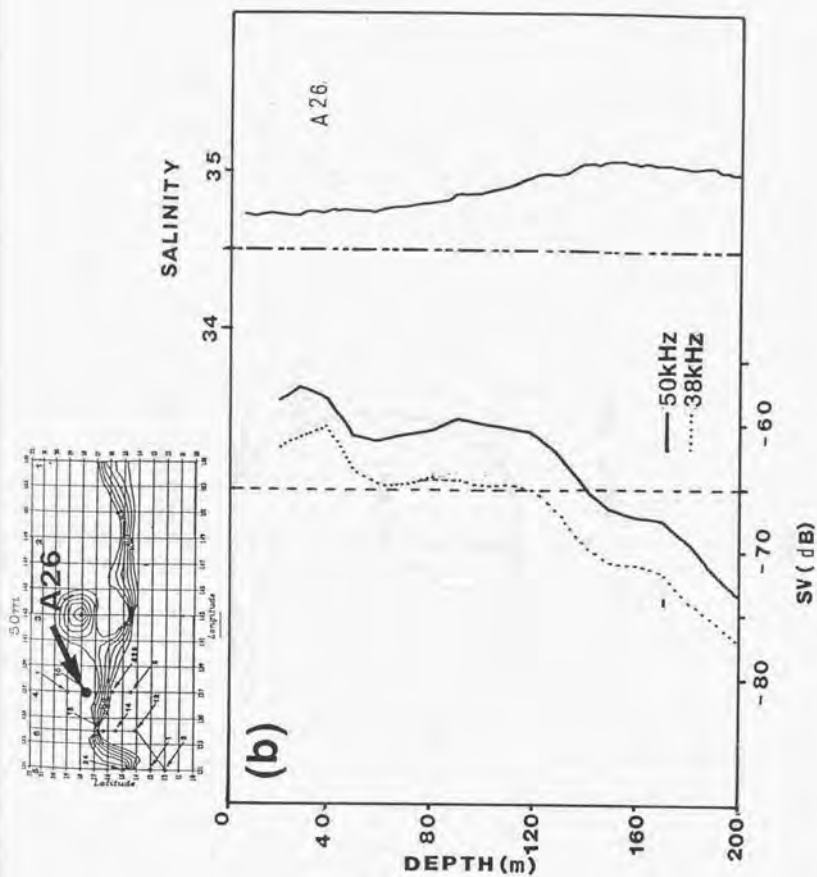


図5-15 (b) フロント周辺域の平均体積散乱強度と塩分構造

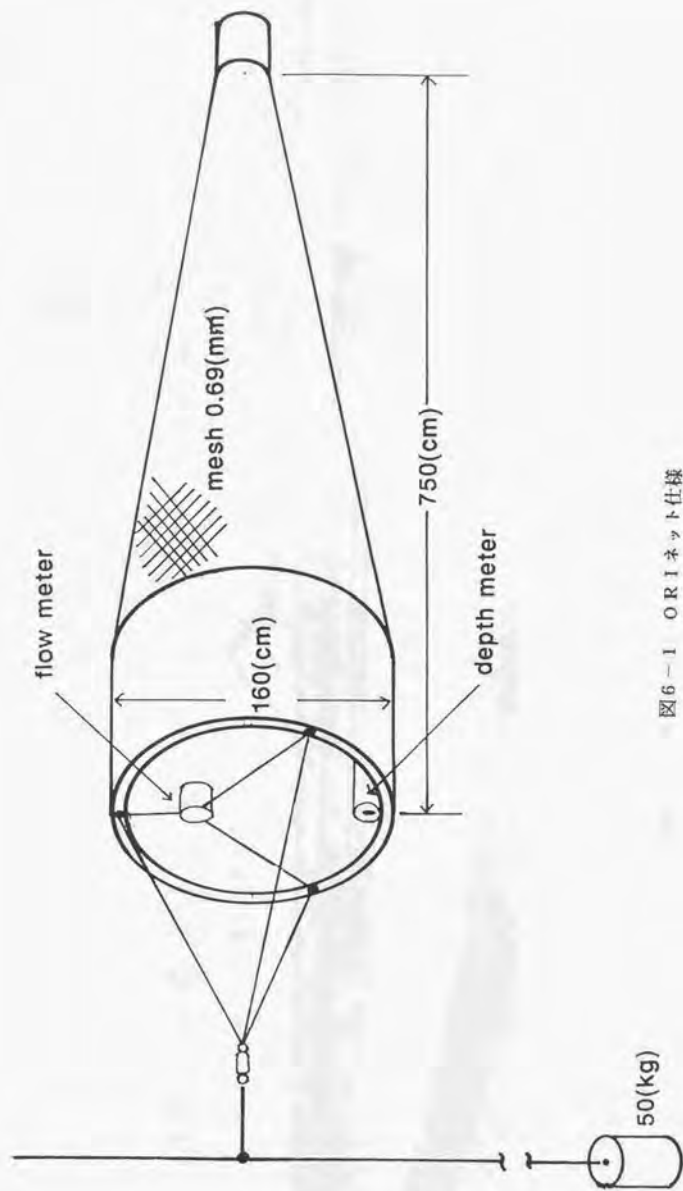


図6-1 ORI ネット仕様

船速 2 Knot

曳網時間 20分

ORI-69 ネット

フローメーター・深度計 (RMD)

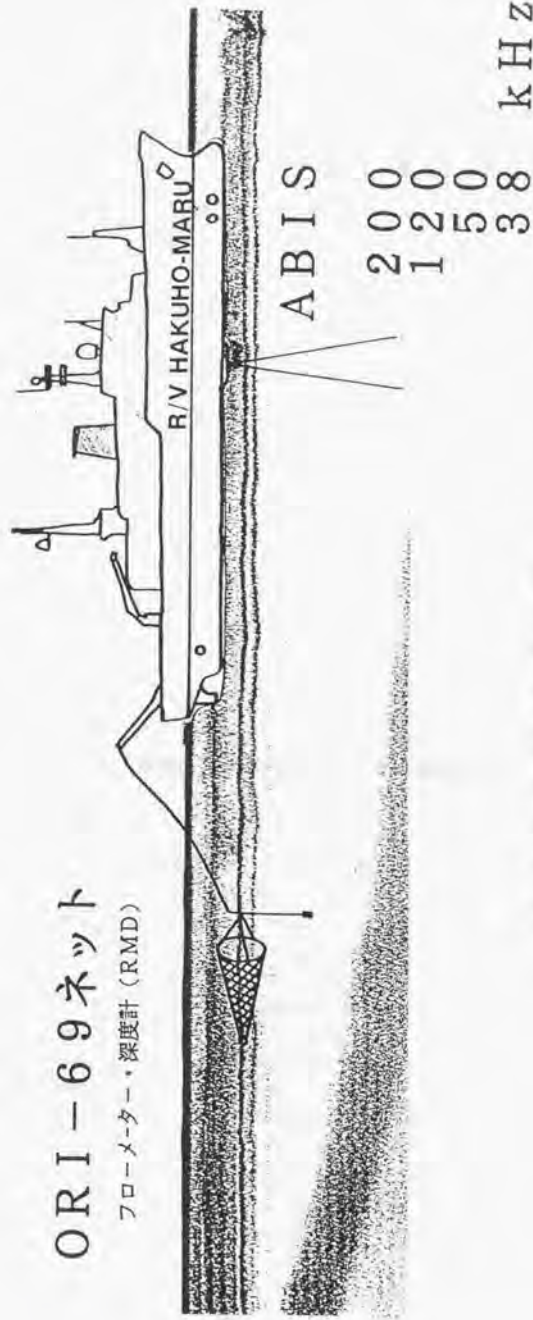


図6-2 散乱層計測および生物採集方法

表6-1 ORIネット曳網仕様

	入網時	曳網時	揚網時
船速 [knot] [m/s]	2.0 1.0	2.0 1.0	1.0 0.5
ワイヤー速度 [m/s]	-1.0	0.0	1.0
ネット対水 速度 [m/s]	0.0	1.0	1.5

表6-2 曳網段階におけるORIネット濾水比率

		所用時間	濾水距離	割合
ワイヤ0 繰出	繰り出し時	80 [s]	0	0 [%]
	曳網時	1200	1200	91
	巻き上げ時	80	120	9
ワイヤ5 繰出	繰り出し時	150	0	0
	曳網時	1200	1200	84
	巻き上げ時	150	225	16

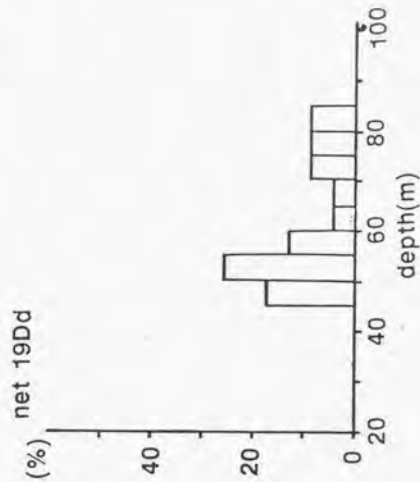
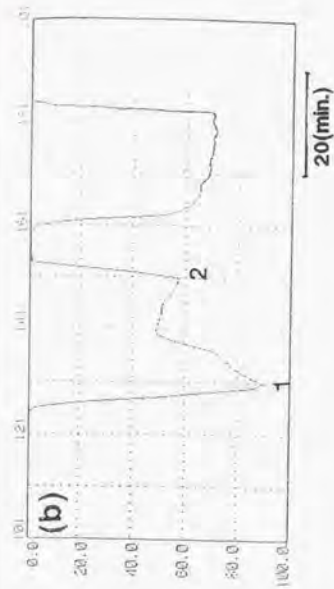
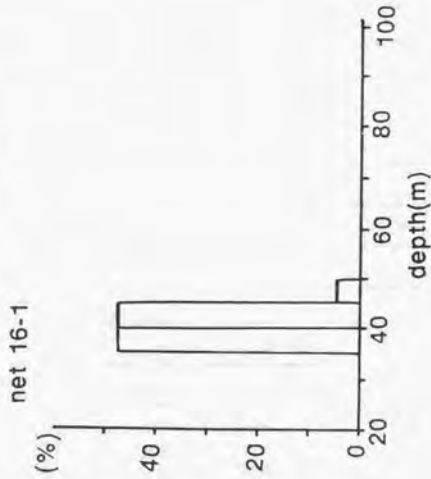
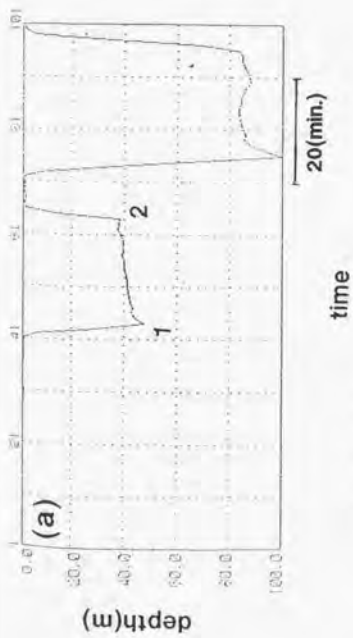


図6-3 ネット曳網深度の安定性
 (a)：安定曳網、(b)：不安定曳網
 図上：深度計によるネット曳網深度の変化
 図下：5 m間隔でのネット曳網深度の頻度分布

表6-3' ORIネットの曳網深度および総水体积

ネット 番号	測点	曳網深度幅 [m]	総水体积 [m ³]	備考
1	3Nd	60 - 70	2626	
2	5Nd	25 - 35	2229	
3	5Ns	10 - 20	1480	10分曳
4	6Nd	50 - 75	2474	
5	6Ns	30 - 55	2873	
6	7Nd	60 - 70	3397	
7	7Ns	25 - 40	3054	
8	8Nd	70 - 90	3491	
9	8Ns	45 - 50	2960	
10	9Nd	60 - 75	3983	
11	9Ds	40 - 60	3235	
12	G2Ns	40 - 55	2774	
13	13Nd	50 - 75	6518	42分曳
14	14Nd	120 - 130	3081	
15	14Ns	50 - 60	2832	
16	16-1	35 - 45	2399	
17	16-3	65 - 75	2935	
18	16-4	40 - 50	2217	
19	19Ds	60 - 75	1464	
20	20Dd	70 - 90	3095	
21	21Nd	75 - 100	3043	
22	21Ns	45 - 55	2273	
23	21Ds	30 - 45	2779	
24	SB4Nd	60 - 70	3297	
25	22Nd	45 - 55	3443	
26	22Ns	20 - 40	3407	
27	22Dd	75 - 80	3156	

表6-4 対数生物量および4周波数の平均体積散乱強度

測点	対数生物量 (dB)	SV ₂₀₀ (dB)	SV ₁₂₀ (dB)	SV ₅₀ (dB)	SV ₃₀ (dB)
3Nd	-69.9	-72.0	-69.2	-63.4	-67.3
5Nd	-60.7	-71.1	-68.5	-63.6	-67.0
5Ns	-56.3	-63.4	-61.4	-56.1	-58.6
6Nd	-72.5	-74.6	-72.5	-64.5	-67.3
6Ns	-72.6	-77.7	-75.6	-67.4	-73.1
7Nd	-73.0	-75.7	-73.8	-68.1	-72.2
7Ns	-70.7	-78.5	-76.8	-69.6	-73.9
8Nd	-74.1	-77.0	-75.6	-68.7	-76.7
8Ns	-75.7	-80.3	-78.9	-71.7	-75.7
9Nd	-74.7	-79.5	-76.0	-66.4	-70.6
9Ds	-75.7	-82.1	-80.6	-72.2	-75.5
G2Ns	-68.6	-77.7	-74.9	-69.6	-71.8
13Nd	-72.6	-79.4	-76.8	-74.8	-73.9
14Nd	-71.7	-78.9	-75.4	-72.7	-71.7
14Ns	-70.5	-79.7	-76.1	-70.1	-73.3
16-1	-63.0	-65.2	-63.8	-56.3	-59.2
16-3	-63.6	-65.2	-63.7	-58.4	-61.4
16-4	-62.4	-65.6	-63.9	-54.8	-58.3
19Ds	-69.8	-77.5	-74.3	-64.3	-71.8
20Dd	-69.9	-75.0	-74.0	-67.5	-68.9
21Nd	-69.8	-72.3	-70.0	-65.7	-67.4
21Ns	-66.9	-69.8	-68.1	-63.6	-62.9
21Ds	-68.8	-75.5	-76.5	-75.5	-78.3
SB4Nd	-67.2	-64.9	-64.1	-57.4	-61.8
22Nd	-68.6	-67.4	-65.7	-58.2	-61.8
22Ns	-69.5	-69.3	-67.9	-60.2	-63.0
22Dd	-69.7	-77.4	-75.2	-71.5	-75.8

ABIS KH-89-2

Biomass

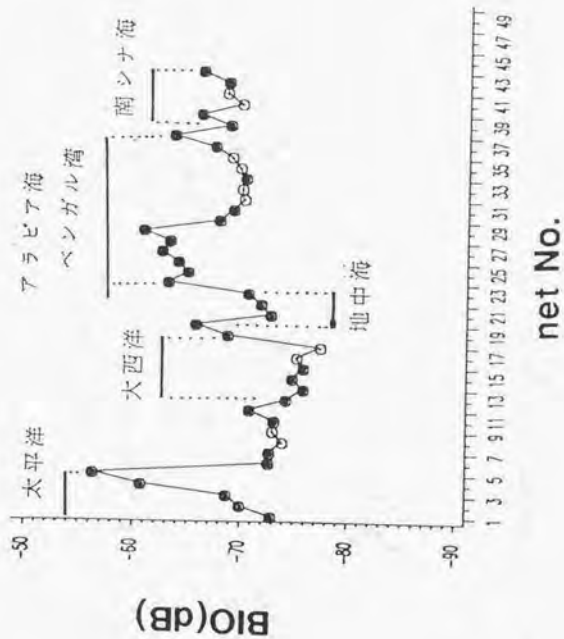


図6-4 世界主要海域の対数生物量
●：夜間採集、○：昼間採集

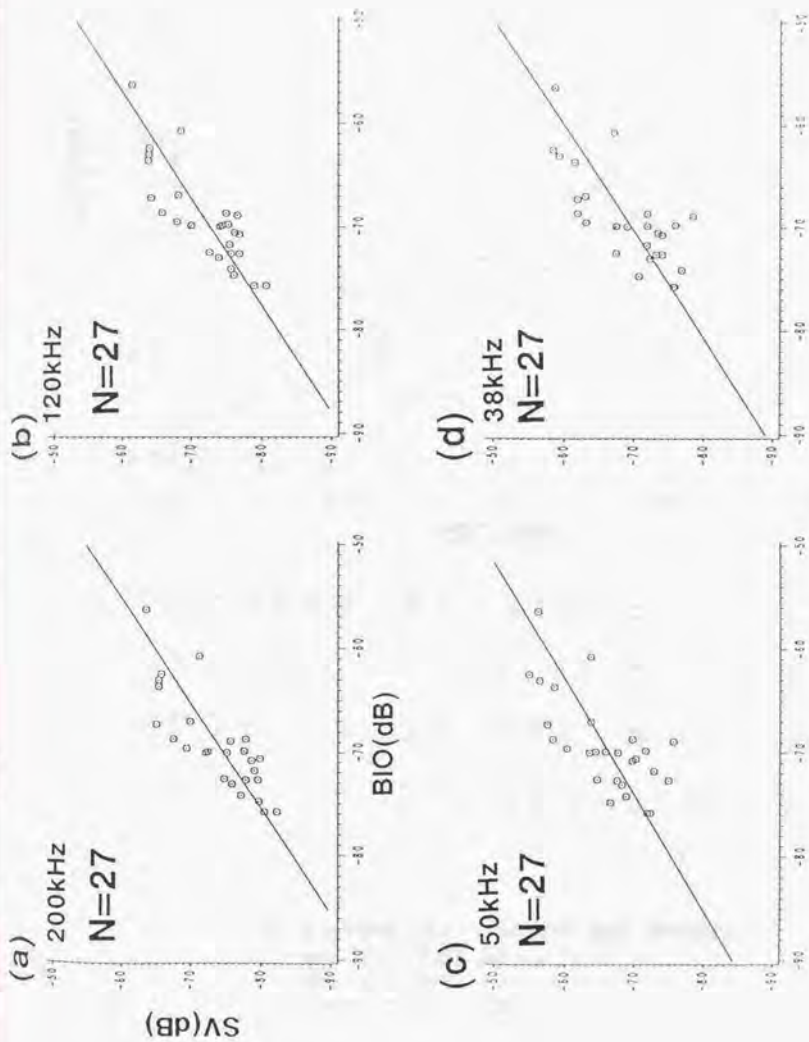
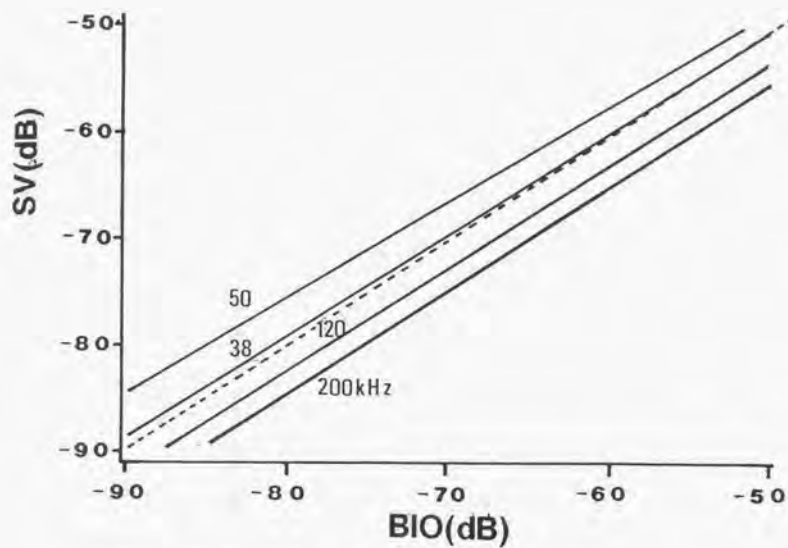


図6-5 平均体積散乱強度と対数生物量

(a) 200 kHz、(b) 120 kHz、(c) 50 kHz、(d) 38 kHz
 縦軸：平均体積散乱強度 SV [dB]、横軸：対数生物量 BIO [dB]
 ○：計測値、図中の直線は回帰直線を示す



$$\begin{aligned}
 SV_{200} &= 0.99 \cdot BIO - 5.6 & r &= 0.82 \\
 SV_{120} &= 0.96 \cdot BIO - 5.3 & r &= 0.83 \\
 SV_{50} &= 0.90 \cdot BIO - 3.7 & r &= 0.70 \\
 SV_{38} &= 0.97 \cdot BIO - 2.0 & r &= 0.74
 \end{aligned}$$

図6-6 平均体積散乱強度と対数生物量の関係(回帰直線)

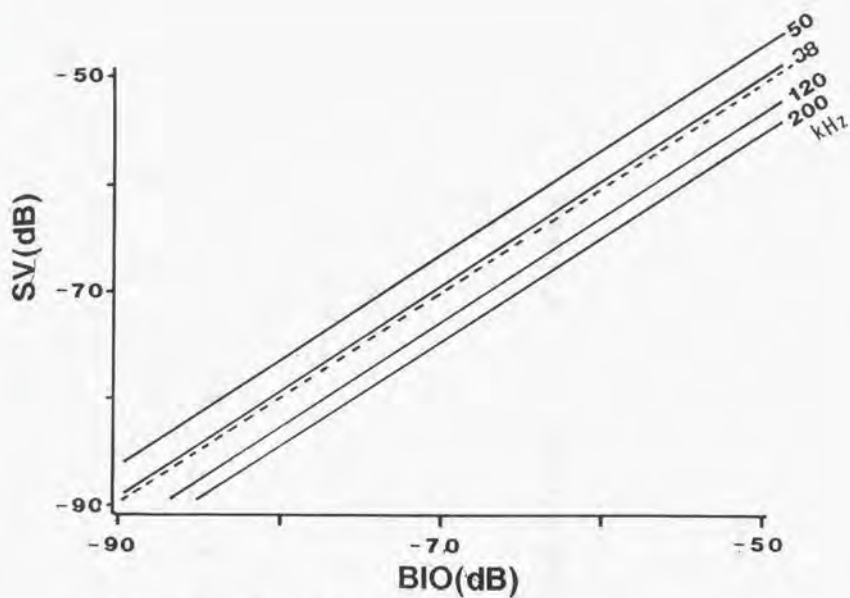
縦軸: 平均体積散乱強度 SV [dB]

横軸: 対数生物量 BIO [dB]

点線は回帰係数1の直線を示す

表6-5 回帰係数の95%信頼限界

周波数	回帰係数の95%信頼限界幅
200 KHz	0.69 ~ 1.27
120 KHz	0.67 ~ 1.24
50 KHz	0.51 ~ 1.20
38 KHz	0.62 ~ 1.20



$$SV_{200} = BIO - 4.6$$

$$SV_{120} = BIO - 2.7$$

$$SV_{50} = BIO + 3.5$$

$$SV_{38} = BIO + 0.3$$

Max. : 3.5

Min. : -4.6

Ave. : -0.88 +/- 1.90

図6-7 平均体積散乱強度と対数生物量の関係 (理想仮定直線)

縦軸: 平均体積散乱強度 SV [dB]

横軸: 対数生物量 BIO [dB]

点線は回帰係数1の直線を示す

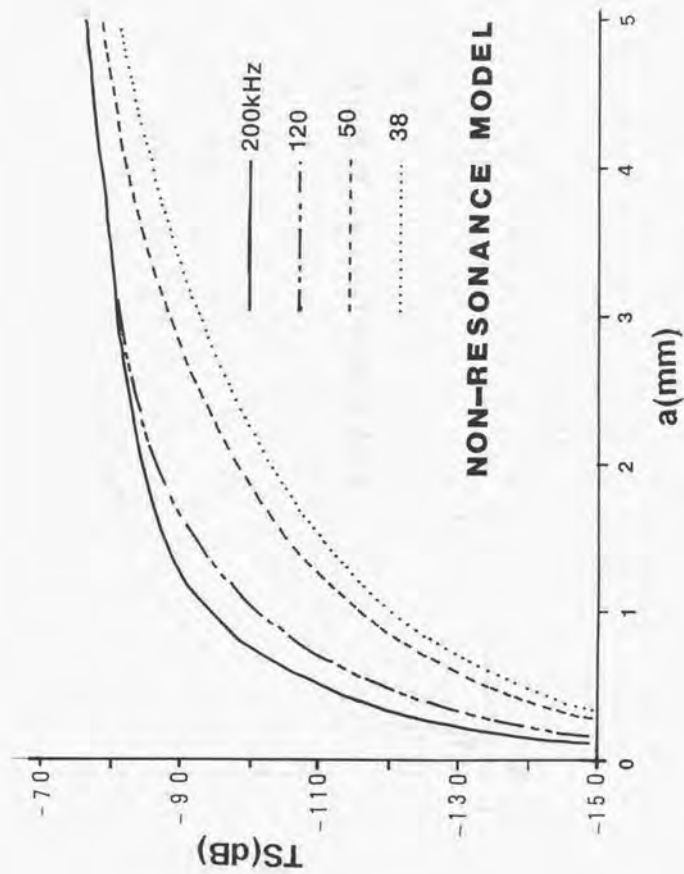


図7-1 非共振モデル (Johnsonモデル)
 縦軸: ターゲットストレングスTS [dB]
 横軸: 等価半径 a [mm]

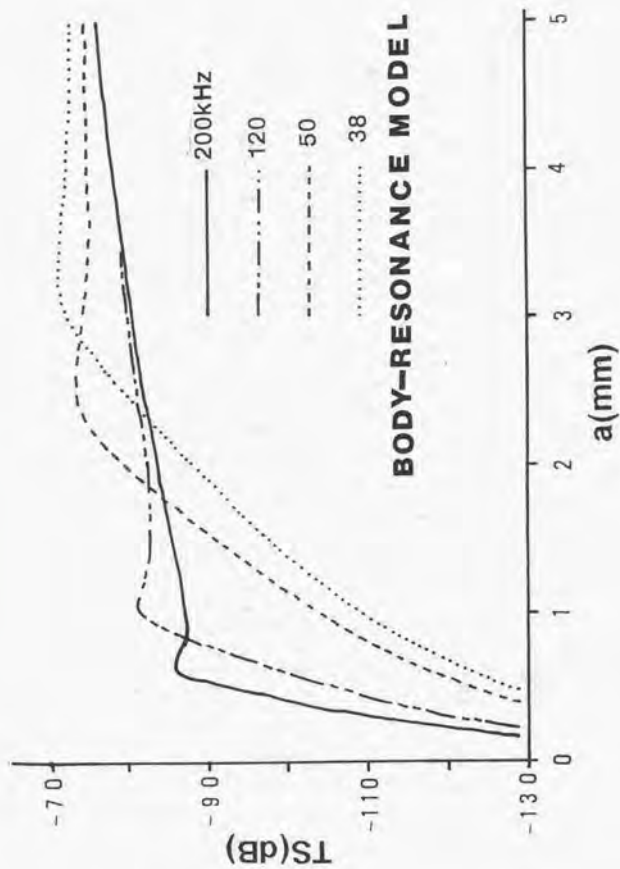


図7-2 体共振モデル (Kristensenモデル)
 縦軸：ターゲットストレッチングスTS [dB]
 横軸：等価半径 a [mm]

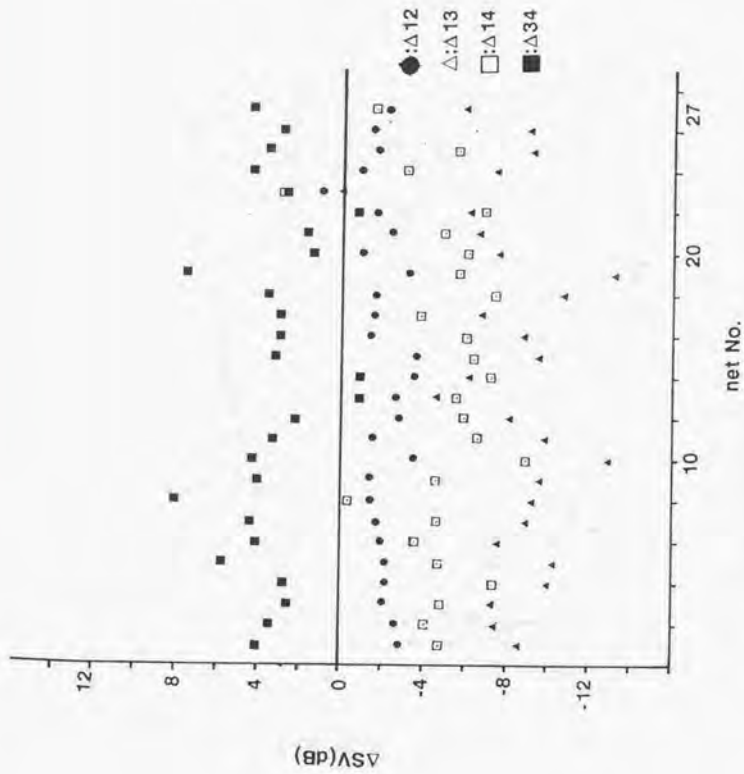


図7-3 周波数間の平均体積散乱強度差
 縦軸：平均体積散乱強度差SV [dB]、
 Δ12：200kHzと120kHzの差
 Δ13：200kHzと50kHzの差
 Δ14：200kHzと38kHzの差
 Δ34：50kHzと38kHzの差
 横軸：ネット番号

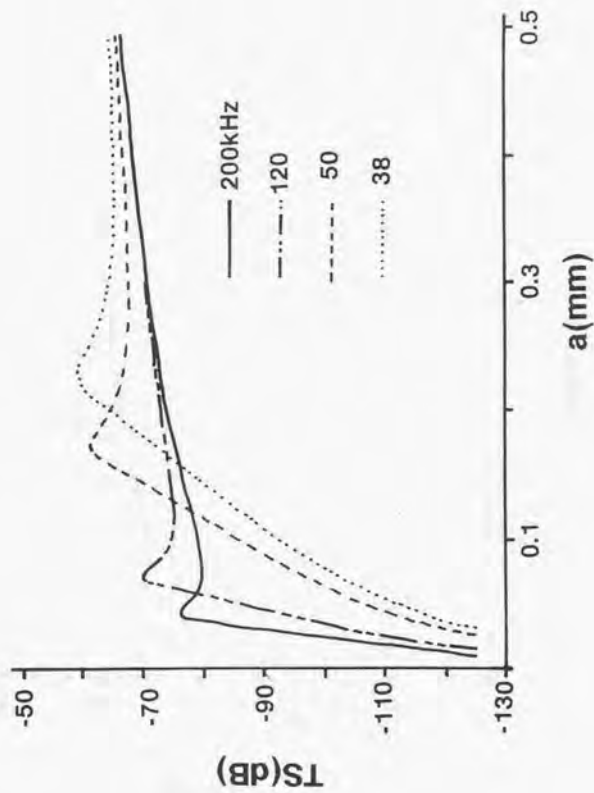


図7-4 板共振モデル
 縦軸：ターゲットストレンジスSV [dB]
 横軸：等価半径a [mm]

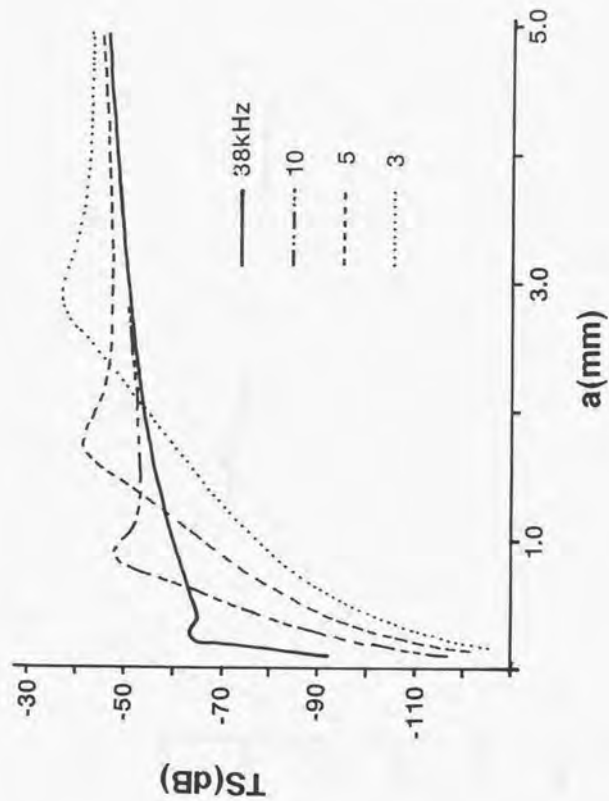


図7-5 低周波数における鯨共振によるターゲットストレンジスと等価半径
 縦軸：ターゲットストレンジスTS [dB]
 横軸：等価半径 a [mm]

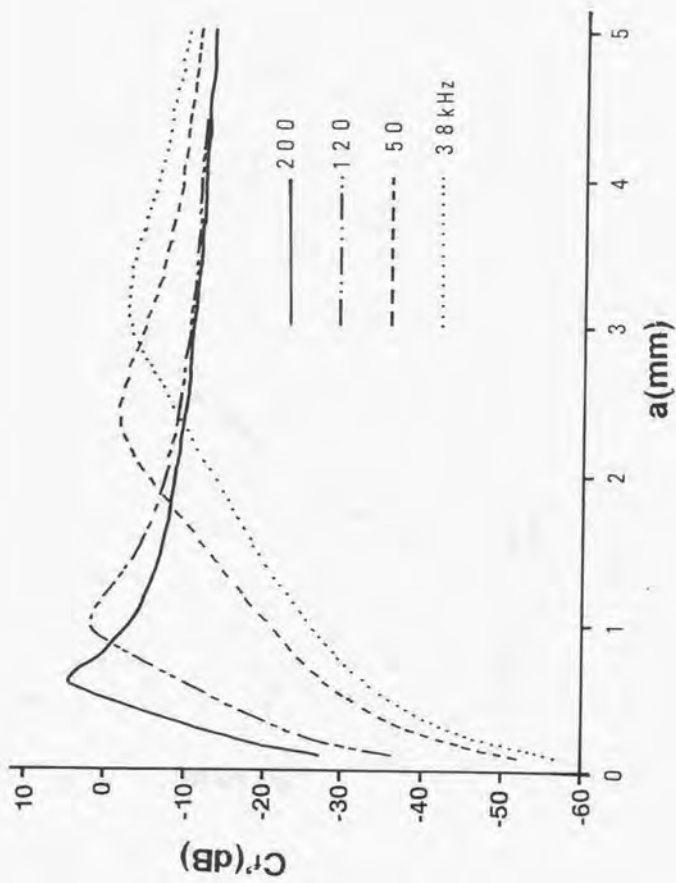


図8-1 体共振モデルにおける C_r' と等価半径
 縦軸： C_r' [dB]
 横軸：等価半径 a [mm]

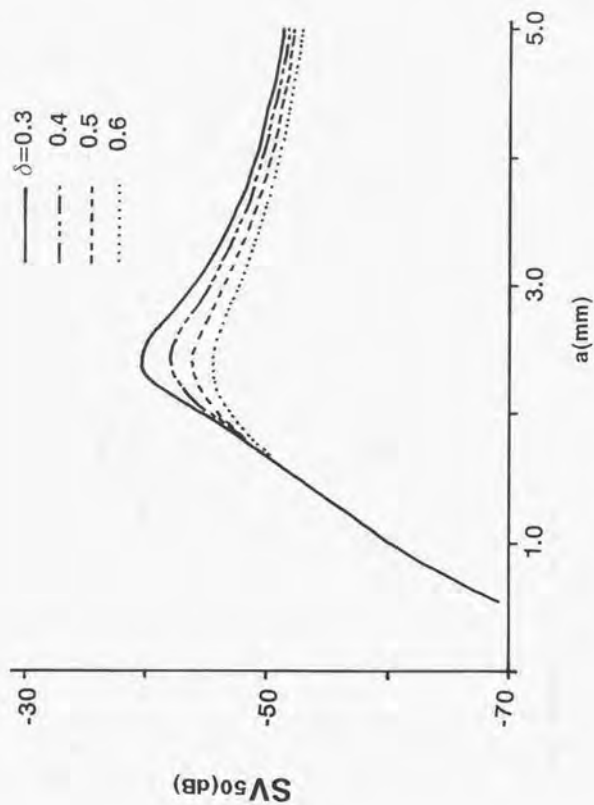


図8-2 ダンピング定数による体積散乱強度の変化
 縦軸：体積散乱強度SV [dB] (50 kHz)
 横軸：等価半径 a [mm]

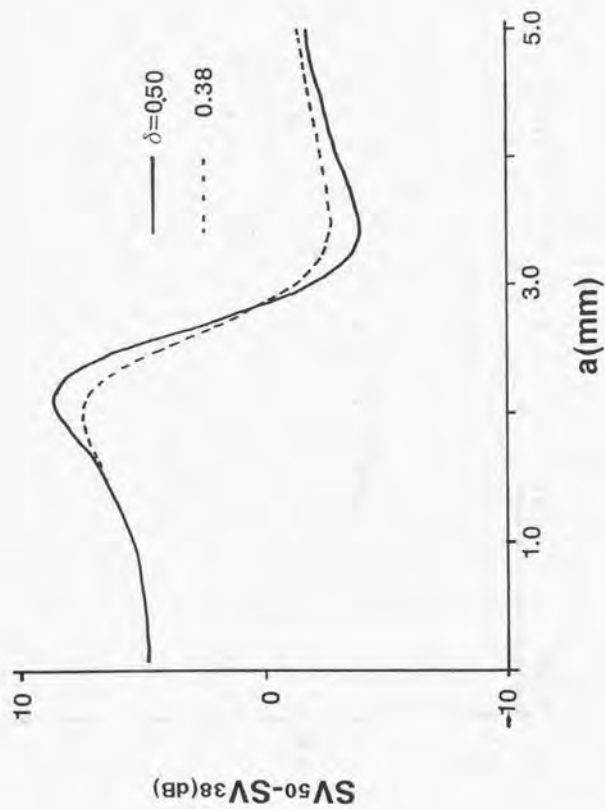


図8-3 ダンピング定数による体積散乱強度差の変化
 縦軸：体積散乱強度差 [dB] (50 kHz と 38 kHz の差)
 横軸：等価半径 a [mm]

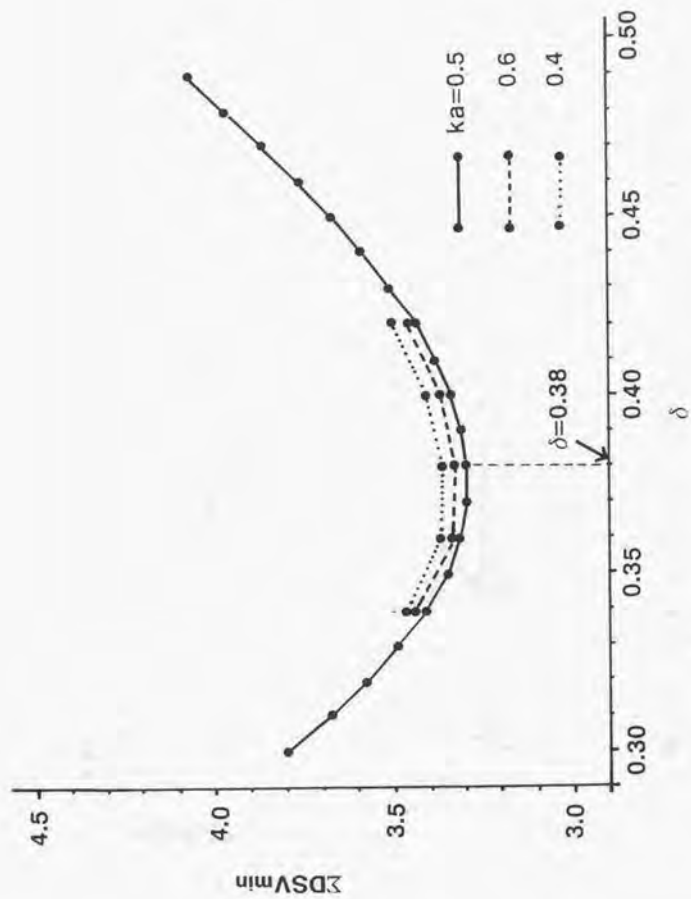


図8-4 共振周波数による ΣDSV_{min} とダンピング定数の関係
 縦軸： ΣDSV_{min} 、横軸：ダンピング定数 δ
 $ka=0.4$ は $f_0=c/5.0\pi a$
 $ka=0.5$ は $f_0=c/4.0\pi a$
 $ka=0.6$ は $f_0=c/3.3\pi a$

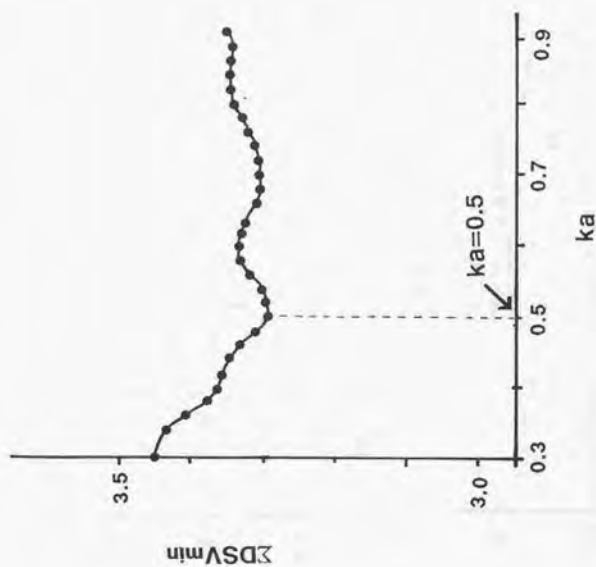


図8-5 ダンピング定数 $\delta=0.38$ における ΣDSV_{min} と共振周波数の関係

縦軸： ΣDSV_{min} 、横軸： ka

ただし、横軸の ka を $x=ka$ として $f_0=cx/2\pi a$
すなわち、 $ka=0.5$ で $f_0=c/4\pi a$

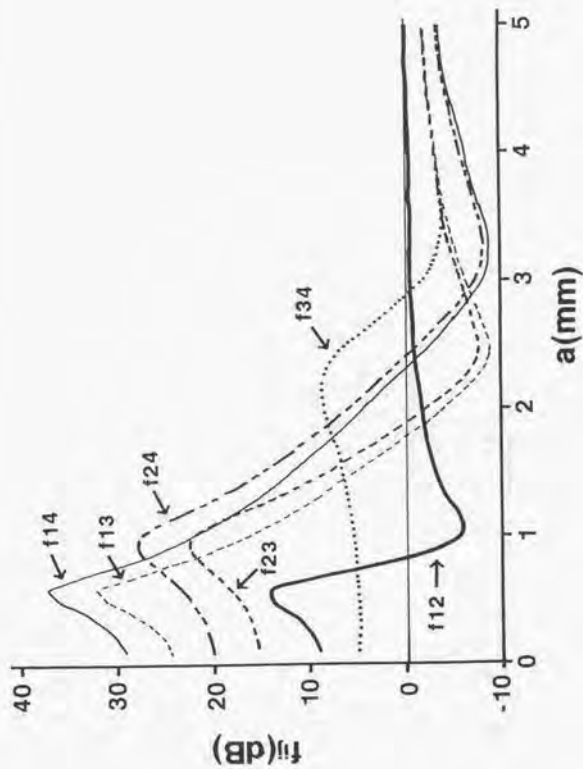


図8-6 SV差と等価半径

縦軸：SV差 f_i [dB]、横軸：等価半径 a [mm]

ただし、「および」は周波数を表わす

1: 200 kHz, 2: 120 kHz, 3: 50 kHz, 4: 38 kHz

表8-1 モデルによるSV差序列と各クラスのランク範囲
 (+) および (-) はSV差の符号を表わす

クラス	ランク	SV差序列
1	1 ~ 7	f14(+)>f13(+)>f24(+)>f23(+)>f12(+)>f34(+)
2	8	f14(+)>f24(+)>f13(+)>f23(+)>f34(+)>f12(+)
3	9 ~ 14	f24(+)>f14(+)>f23(+)>f13(+)>f34(+)>f12(-)
4	15	f24(+)>f14(+)>f23(+)>f34(+)>f13(+)>f12(-)
5	16 ~ 17	f24(+)>f14(+)>f34(+)>f23(+)>f13(+)>f12(-)
6	18	f24(+)>f34(+)>f14(+)>f23(+)>f13(+)>f12(-)
7	19 ~ 23	f34(+)>f24(+)>f14(+)>f23(-)>f12(-)>f13(-)
8	24	f34(+)>f24(-)>f12(-)>f14(-)>f23(-)>f13(-)
9	25 ~ 28	f34(+)>f12(-)>f24(-)>f14(-)>f23(-)>f13(-)
10	29	f34(-)>f12(-)>f23(-)>f24(-)>f13(-)>f14(-)
11	30 ~ 35	f12(-)>f34(-)>f23(-)>f13(-)>f24(-)>f14(-)
12	36 ~ 55	f12(-)>f23(-)>f34(-)>f13(-)>f24(-)>f14(-)
13	56 ~ 100	f12(-)>f34(-)>f23(-)>f13(-)>f24(-)>f14(-)

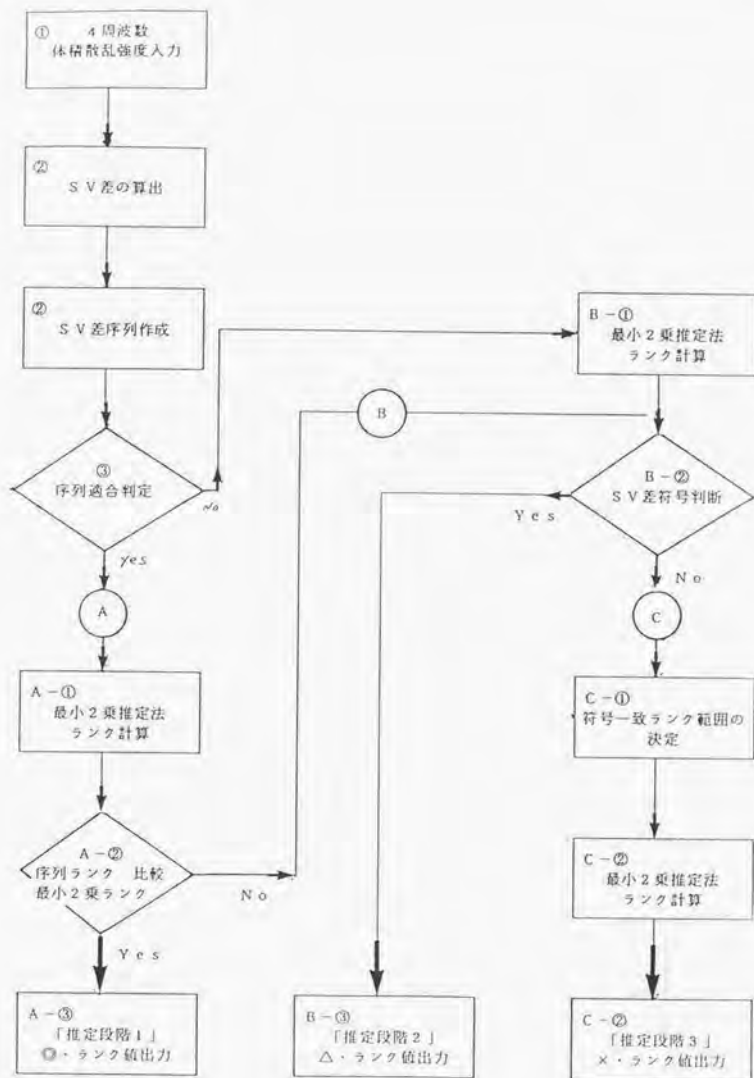


図8-7 サイズランク決定フロチャート

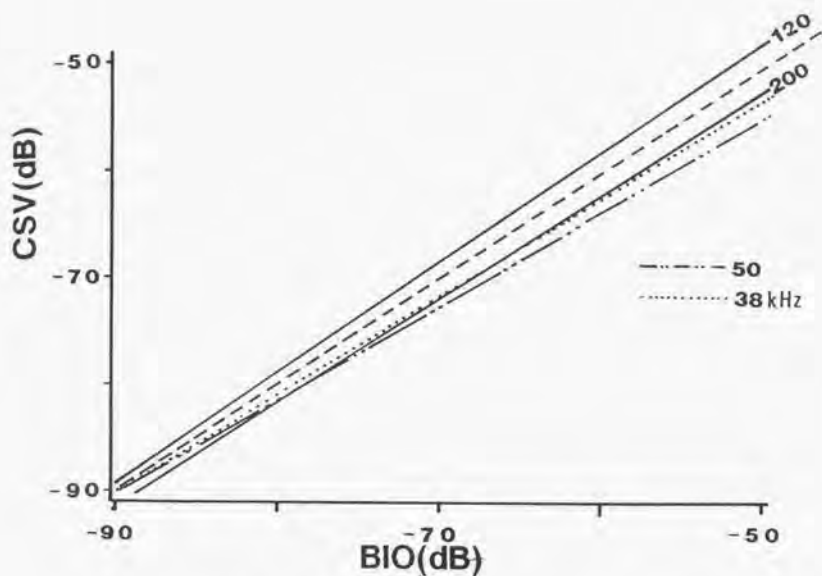
表8-2 支配的サイズランクの推定ランクおよび推定段階

測点	序列適合ランク	最小2乗 ランク	推定段階	再計算 ランク	推定 ランク
3Nd	25, 26, 27, 28	26	○		26
5Nd	24	26	△		24
5Ns	25, 26, 27, 28	27	○		27
6Nd	25, 26, 27, 28	27	○		27
6Ns	25, 26, 27, 28	26	○		26
7Nd	24	26	△		26
7Ns	25, 26, 27, 28	26	○		26
8Nd	20, 21, 22, 23	23	○		23
8Ns	25, 26, 27, 28	26	○		26
9Nd	25, 26, 27, 28	27	○		27
9Ds	25, 26, 27, 28	27	○		27
G2Ns		27	△		27
13Nd		45	△		45
14Nd		29	△		29
14Ns		27	△		27
16-1	25, 26, 27, 28	27	○		27
16-2	25, 26, 27, 28	26	○		26
16-4	25, 26, 27, 28	27	○		27
19Ds	24	25	△		25
20Dd	25, 26, 27, 28	28	○		28
21Nd		27	△		27
21Ns	29	29	○		29
21Ds		50	×	20	20
5B4Nd	25, 26, 27, 28	26	○		26
22Nd	25, 26, 27, 28	27	○		27
22Ns	25, 26, 27, 28	27	○		27
22Dd	20, 21, 22, 23	25	△		25

表8-3 補正值および補正平均体積散乱強度

C200, C120, C50およびC38は周波数200、120
50および38kHzにおける変数C₁₀を示す。

測点	C200	CSV200	C120	CSV120	C50	CSV50	C38	CSV38
3Nd	2.3	-69.7	0.8	-68.4	-7.1	-70.5	-1.7	-69.0
5Nd	2.3	-68.8	1.5	-67.0	-7.1	-70.7	-1.7	-68.7
5Ns	2.5	-60.9	1.7	-59.7	-6.3	-62.4	-2.9	-61.5
6Nd	2.5	-72.1	1.7	-70.8	-6.3	-70.8	-2.9	-70.2
6Ns	2.3	-75.4	1.5	-74.1	-7.1	-74.5	-1.7	-74.6
7Nd	2.3	-73.4	1.5	-72.3	-7.1	-75.2	-1.7	-73.9
7Ns	2.2	-76.2	1.5	-75.3	-7.1	-76.7	-1.7	-75.6
8Nd	1.6	-75.4	0.5	-75.1	-7.4	-76.1	2.0	-74.7
8Ns	2.3	-78.0	1.5	-77.4	-7.1	-78.8	-1.7	-77.6
9Nd	2.5	-77.0	1.7	-74.3	-6.3	-72.7	-2.9	-73.5
9Ds	2.5	-79.6	1.7	-78.9	-6.3	-78.5	-2.9	-78.4
G2Ns	2.5	-75.2	1.7	-73.2	-6.3	-75.9	-2.9	-74.7
13Nd	5.0	-74.4	4.7	-72.1	2.5	-72.3	0.0	-73.9
14Nd	2.9	-76.0	2.2	-73.2	-4.6	-77.3	-5.2	-76.9
14Ns	2.5	-77.2	1.7	-74.4	-6.3	-76.4	-2.9	-76.2
16-1	2.5	-62.7	1.7	-62.1	-6.3	-62.6	-2.9	-62.1
16-3	2.3	-62.9	1.5	-62.2	-7.1	-65.5	-1.7	-63.1
16-4	2.5	-63.1	1.7	-62.2	-6.3	-61.1	-2.9	-61.2
19Ds	2.1	-75.4	1.2	-73.1	-7.7	-72.0	-0.5	-72.3
20Dd	2.7	-72.3	2.0	-72.0	-5.4	-72.9	-4.1	-73.0
21Nd	2.5	-69.8	1.7	-68.3	-6.3	-72.0	-2.9	-70.3
21Ns	2.9	-66.9	2.2	-65.9	-4.6	-68.2	-5.2	-68.1
21Ds	0.8	-74.7	-0.7	-77.2	-3.3	-78.8	5.5	-72.6
SB4Nd	2.3	-62.6	1.5	-62.6	-7.1	-64.5	-1.7	-63.5
22Nd	2.5	-64.9	1.7	-64.0	-6.3	-64.5	-2.9	-64.7
22Ns	2.5	-66.8	1.7	-66.2	-6.3	-66.5	-2.9	-65.9
22Dd	2.1	-75.3	1.2	-74.0	-7.7	-79.2	-0.5	-76.2



$$CSV_{200} = 0.98 \cdot BIO - 3.7 \quad r=0.81$$

$$CSV_{120} = 0.95 \cdot BIO - 4.3 \quad r=0.81$$

$$CSV_{50} = 0.86 \cdot BIO - 12.5 \quad r=0.71$$

$$CSV_{38} = 0.91 \cdot BIO - 8.0 \quad r=0.79$$

図8-8 補正平均体積散乱強度と対数生物量の関係(補正回帰直線)

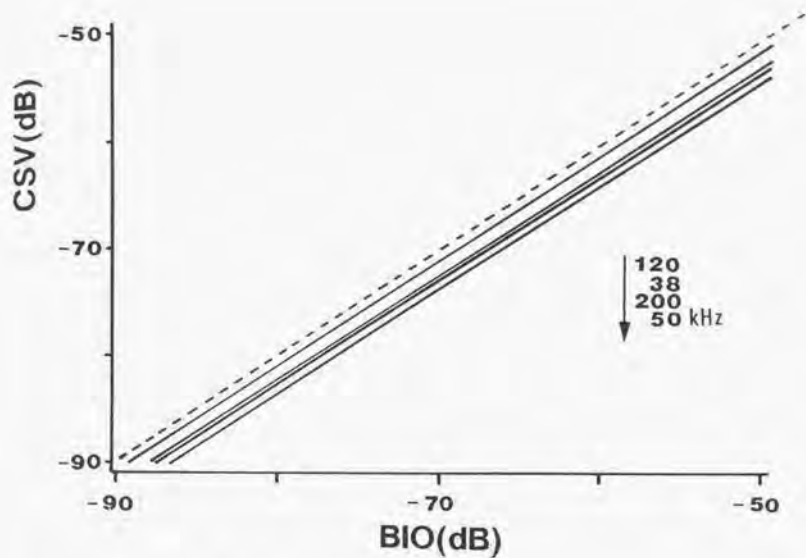
縦軸: 補正平均体積散乱強度 CSV [dB]

横軸: 対数生物量 BIO [dB]

点線は回帰係数1の直線を示す

表8-4 回帰係数の95%信頼限界

周波数	回帰係数の95%信頼限界幅
200 kHz	0.70 ~ 1.28
120 kHz	0.70 ~ 1.23
50 kHz	0.51 ~ 1.28
38 kHz	0.60 ~ 1.33



$$CSV_{200} = BIO - 2.2$$

$$CSV_{120} = BIO - 1.0 \quad \text{Max.} : -1.0$$

$$CSV_{50} = BIO - 2.5 \quad \text{Min.} : -2.5$$

$$CSV_{38} = BIO - 1.7 \quad \text{Ave.} : -1.85 \pm 0.38$$

図8-9 補正平均体積散乱強度と対数生物量の関係 (補正理想直線)

縦軸: 補正平均体積散乱強度 CSV [dB]

横軸: 対数生物量 BIO [dB]

点線は回帰係数1の直線を示す

表8-5(a) 採集生物の平均体長と等価半径(魚類大)

魚類(大)

測点	平均体長[mm]	標準偏差[mm]	計測個体数	等価半径[mm]
13Nd	23.9	5.6	20	3.6
14Nd	21.7	6.2	33	2.8
20Dd	---	---	---	---
6Nd	28.0	12.7	4	3.9
9Nd	---	---	---	---
9Ds	---	---	---	---
G2	24.1	3.8	10	1.7
14Ns	19.5	---	2	3.6
21Nd	14.0	1.7	46	2.1
22Nd	18.4	7.8	16	2.7
22Ns	15.5	6.3	10	2.1
3Nd	24.8	6.0	14	3.6
6Ns	22.0	---	2	2.8
7Nd	32.3	9.9	4	3.6
7Ns	24.0	4.2	4	2.3
8Ns	26.0	---	2	3.6
SB4d	15.5	3.4	50	2.1
19Ds	---	---	---	---
8Nd	---	---	---	---
21Ds	---	---	---	---

表 8-5 (b) 採集生物の平均体長と等価半径 (オキアミ大)

オキアミ (大)

測点	平均体長 [mm]	標準偏差 [mm]	計測個体数	等価半径 [mm]
13Nd	10.7	2.6	108	2.3
14Nd	9.8	2.6	106	1.6
20Dd	---	---	---	---
6Nd	10.3	2.8	39	1.8
9Nd	11.5	2.5	29	1.9
9Ds	---	---	---	---
G2	10.1	2.5	66	1.7
14Ns	10.7	2.3	100	1.6
21Nd	9.7	2.0	91	1.5
22Nd	9.5	2.4	119	1.2
22Ns	10.1	2.6	72	2.2
3Nd	15.2	3.4	56	2.4
6Ns	10.6	2.4	24	1.8
7Nd	10.4	1.3	39	1.8
7Ns	10.9	3.5	38	1.8
8Ns	---	---	---	---
SB4d	9.9	2.6	100	1.6
19Ds	---	---	---	---
8Nd	9.7	1.1	43	1.5
21Ds	9.7	1.1	42	1.5

表 8-5 (c) 採集生物の平均体長と等価半径 (大型甲殻類)

大型甲殻類

測点	平均体長 [mm]	標準偏差 [mm]	計測個体数	等価半径 [mm]
1 3 N d	5. 9	1. 2	1 3 6	1. 8
6 N d	1 6. 8	2. 4	1 0	2. 6
2 2 N d	1 7. 3	4. 1	7	2. 6
6 N s	1 3. 2	1. 8	1 2	2. 5
7 N s	1 2. 4	1. 5	1 4	2. 2

表 8-6 各分類群における占有沈殿量割合およびサイズランク

測点	推定 層	魚大		魚小		オキアミ大		オキアミ小		その他 大型甲殻類		⑤その他	
		占有率	層	占有率	層	占有率	層	占有率	層	占有率	層	占有率	層
13Nd	45	5.8	36	2.5	15	8.9	23	8.1	12	5.6	18	68.1	<10
14Nd	29	9.2	28	2.4	18	2.4	16	6.3	<10	---	---	79.7	<10
20Dd	28	---	---	0.6	12	---	---	17.8	<10	---	---	82.1	<10
6Nd	27	3.8	39	4.4	14	3.2	18	13.9	<10	2.5	26	74.7	<10
9Nd	27	---	---	---	---	3.7	19	38.2	<10	---	---	58.1	<10
9Ds	27	---	---	---	---	---	---	6.7	<10	---	---	93.3	<10
02	27	0.3	18	1.3	18	4.5	17	6.8	<10	---	---	87.1	<10
14Ns	27	0.8	36	0.8	12	4.4	16	---	---	---	---	94.0	<10
21Nd	27	1.9	21	3.4	<10	2.2	16	---	---	---	---	92.5	<10
22Nd	27	1.5	27	5.4	<10	5.0	12	---	---	0.6	26	87.4	<10
22Ns	27	0.5	21	3.2	<10	4.7	24	45.5	<10	---	---	46.1	<10
3Nd	28	11.9	38	4.1	<10	13.0	18	21.5	15	---	---	49.5	<10
6Ns	26	0.6	28	1.3	15	1.9	18	---	---	2.6	25	83.6	<10
7Nd	26	2.4	36	2.4	14	3.0	18	---	---	---	---	92.2	<10
7Ns	26	0.4	23	1.2	15	2.3	15	52.7	<10	1.2	22	42.2	<10
8Ns	26	2.8	36	---	---	---	---	15.5	<10	---	---	81.9	<10
SB4d	26	1.9	21	1.1	<10	3.2	16	14.3	<10	---	---	79.5	<10
19Ds	25	---	---	---	---	---	---	2.6	11	---	---	87.4	<10
8Nd	23	---	---	---	---	2.2	15	28.7	<10	---	---	69.1	<10
21Ds	20	---	---	0.5	<10	0.8	15	1.1	<10	---	---	97.6	<10

表 8-7 サイズランク別の占有沈殿量割合
 ランク 10 以下は本表には記してない

		採集生物のランク範囲								
測点	ソック	10	11	16	21	26	31	36	41	46
		以下	~ 15	~ 20	~ 25	~ 30	~ 35	~ 40	~ 45	以上
13Nd	45	---	34.0	18.1	28.8	---	---	18.8	---	---
14Nd	29	31.1	11.8	11.8	---	45.3	---	---	---	---
20Dd	28	96.7	3.3	---	---	---	---	---	---	---
6Nd	27	50.0	15.8	11.5	---	9.0	---	13.7	---	---
9Nd	27	91.2	---	8.8	---	---	---	---	---	---
9Ds	27	100	---	---	---	---	---	---	---	---
G2	27	52.7	10.1	37.2	---	---	---	---	---	---
14Ns	27	---	13.3	73.3	---	---	---	13.3	---	---
21Nd	27	45.4	---	29.3	25.3	---	---	---	---	---
22Nd	27	43.2	40.0	---	---	16.8	---	---	---	---
22Ns	27	90.4	---	---	9.6	---	---	---	---	---
3Nd	26	8.1	42.6	25.7	---	---	---	23.6	---	---
6Ns	26	---	20.3	29.7	50.0	9.4	---	---	---	---
7Nd	26	---	30.7	38.5	---	---	---	30.8	---	---
7Ns	26	91.1	6.1	---	2.8	---	---	---	---	---
8Ns	26	84.5	---	---	---	---	---	15.5	---	---
SB4d	26	75.1	---	15.6	9.3	---	---	---	---	---
19Ds	25	---	100	---	---	---	---	---	---	---
8Nd	23	92.9	7.1	---	---	---	---	---	---	---
21Ds	20	66.7	33.3	---	---	---	---	---	---	---

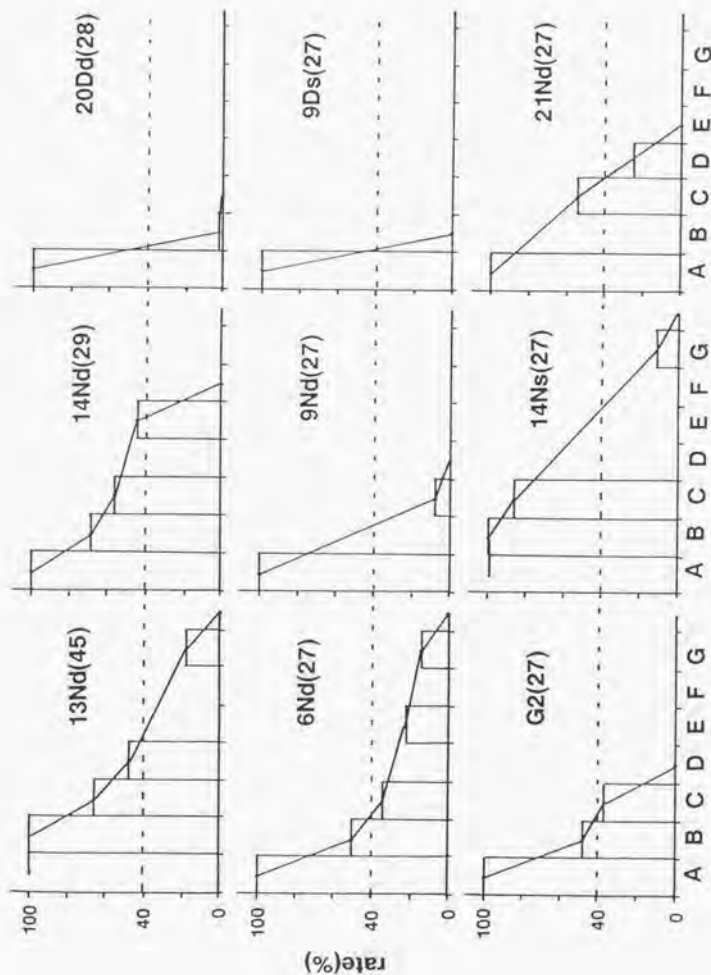


図8-10 採集生物の積算占有率
 縦軸：積算占有率、横軸：サイズランク範囲
 横軸：A：全サイズランク、 B：サイズランク11以上
 C：サイズランク16以上、D：サイズランク21以上
 E：サイズランク26以上、F：サイズランク31以上
 G：サイズランク36以上
 () 内の数値は、推定サイズランクを示す

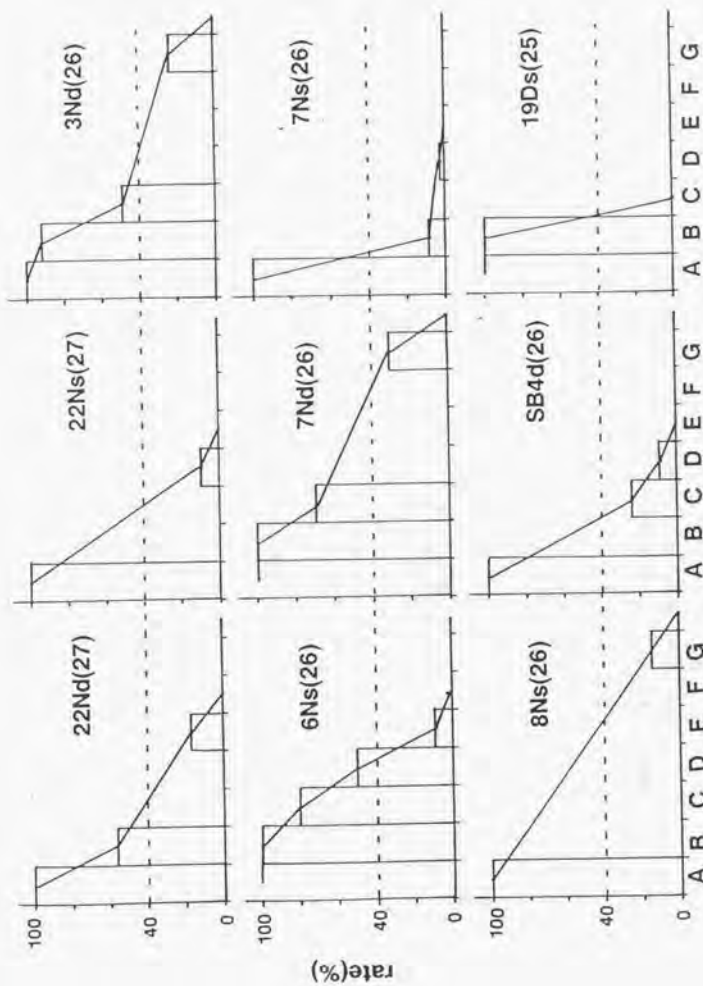


図8-10 (つづき) 採集生物の積算占有率

縦軸：積算占有率、横軸：サイズランク範囲

横軸：A：全サイズランク、B：サイズランク11以上

C：サイズランク16以上、D：サイズランク21以上

E：サイズランク26以上、F：サイズランク31以上

G：サイズランク36以上

() 内の数値は、推定サイズランクを示す

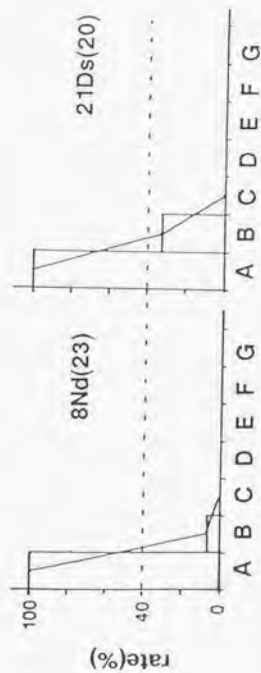


図8-10 (つづき) 採集生物の積算占有率

縦軸：積算占有率、横軸：サイズランク範囲

横軸：A：全サイズランク、 B：サイズランク11以上
 C：サイズランク16以上、 D：サイズランク21以上
 E：サイズランク26以上、 F：サイズランク31以上
 G：サイズランク36以上

() 内の数値は、推定サイズランクを示す

表 8-8 補正による回帰線の変化

200 kHz	回帰式	相関係数
回帰線	$SV_{200} = 1.06 \cdot B I O - 0.92$	0.80
補正回帰線	$CSV_{200} = 1.04 \cdot B I O + 8.70$	0.81

120 kHz	回帰式	相関係数
回帰線	$SV_{120} = 1.09 \cdot B I O + 3.60$	0.90
補正回帰線	$CSV_{120} = 1.09 \cdot B I O + 13.57$	0.87

50 kHz	回帰式	相関係数
回帰線	$SV_{50} = 1.17 \cdot B I O - 14.92$	0.72
補正回帰線	$CSV_{50} = 0.96 \cdot B I O + 3.25$	0.92

38 kHz	回帰式	相関係数
回帰線	$SV_{38} = 1.81 \cdot B I O + 56.61$	0.96
補正回帰線	$CSV_{38} = 0.87 \cdot B I O - 2.95$	0.97

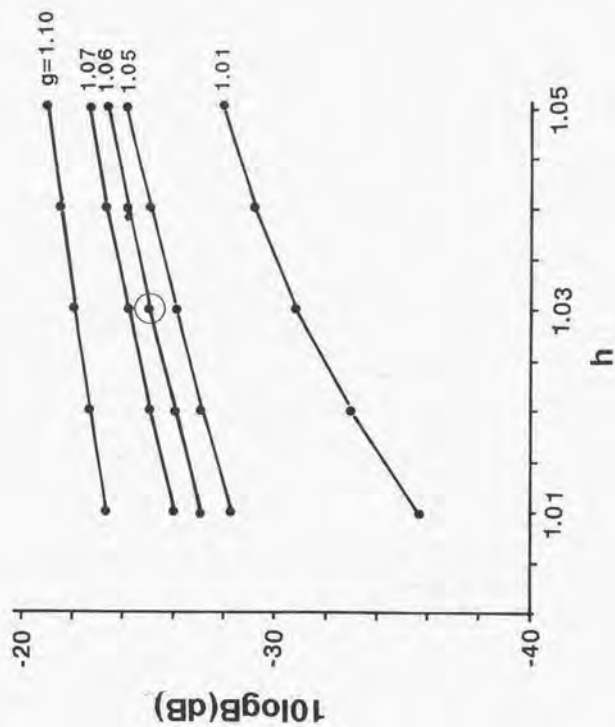


図8-11 密度比と音速比によるBの変化
 縦軸：10を乗したBの対数変換値
 横軸：生物体内と媒質（海水）内の音速比 h
 ○：本研究における設定値、 $g = 1.06$ 、 $h = 1.03$

表 8-9 (a) 採集生物量と推定生物量および両者の比 (200kHz)

200kHz

測点	沈 殿 量 VV	推 定 沈 殿 量 VV'	VV'/VV
3 N d	1 0 2. 3	1 6 4. 1	1. 6 0
5 N d	8 5 1. 1	2 0 1. 8	0. 2 4
5 N s	2 3 4 4. 2	1 2 4 4. 5	0. 5 3
6 N d	5 6. 2	9 4. 4	1. 6 8
6 N s	5 5. 0	4 4. 2	0. 8 0
7 N d	5 0. 1	7 0. 0	1. 4 0
7 N s	8 5. 1	3 6. 7	0. 4 3
8 N d	3 8. 9	4 4. 6	1. 1 5
8 N s	2 6. 9	2 4. 3	0. 9 0
9 N d	3 3. 9	3 0. 5	0. 9 0
9 D s	2 6. 9	1 6. 8	0. 6 2
G 2 N s	1 3 8. 0	4 6. 2	0. 3 4
1 3 N d	5 5. 0	5 5. 3	1. 0 1
1 4 N d	6 7. 6	3 8. 1	0. 5 6
1 4 N s	8 9. 1	2 9. 2	0. 3 4
1 6 - 1	5 0 1. 2	8 2 2. 2	1. 6 4
1 6 - 3	4 3 6. 5	7 8 5. 2	1. 8 0
1 6 - 4	5 7 5. 4	7 4 9. 9	1. 3 0
1 9 D s	1 0 4. 7	4 4. 1	0. 4 2
2 0 D d	1 0 2. 3	8 9. 9	0. 8 8
2 1 N d	1 0 4. 7	1 6 0. 3	1. 5 3
2 1 N s	2 0 4. 2	3 0 9. 7	1. 5 2
2 1 D s	1 3 1. 8	5 2. 4	0. 4 0
S B 4 N	1 9 0. 5	8 4 1. 4	4. 4 2
2 2 N d	1 3 8. 0	4 9 5. 5	3. 5 9
2 2 N s	1 1 2. 2	3 1 9. 9	2. 8 5
2 2 D d	1 0 7. 2	4 5. 1	0. 4 2

表8-9 (b) 採集生物量と推定生物量および両者の比 (120 kHz)

120 kHz

副点	沈澱量 VV	推定沈澱量 VV'	VV'/VV
3 N d	1 0 2. 3	2 1 9. 3	2. 1 4
5 N d	8 5 1. 1	3 0 2. 7	0. 3 6
5 N s	2 3 4 4. 2	1 6 4 8. 2	0. 7 0
6 N d	5 6. 2	1 2 7. 9	2. 2 8
6 N s	5 5. 0	1 2 7. 9	2. 3 3
7 N d	5 0. 1	8 9. 3	1. 7 8
7 N s	8 5. 1	4 4. 8	0. 5 3
8 N d	3 8. 9	4 7. 8	1. 2 3
8 N s	2 6. 9	2 7. 6	1. 0 3
9 N d	3 3. 9	5 7. 1	1. 6 9
9 D.s	2 6. 9	1 9. 8	0. 7 4
G 2 N s	1 3 8. 0	7 3. 6	0. 5 3
1 3 N d	5 5. 0	9 5. 1	1. 7 3
1 4 N d	6 7. 6	7 3. 3	1. 0 8
1 4 N s	8 9. 1	5 5. 8	0. 6 3
1 6 - 1	5 0 1. 2	9 4 8. 4	1. 8 9
1 6 - 3	4 3 6. 5	9 1 4. 1	2. 0 9
1 6 - 4	5 7 5. 4	9 2 6. 8	1. 6 1
1 9 D s	1 0 4. 7	7 4. 6	0. 7 1
2 0 D d	1 0 2. 3	9 5. 9	0. 9 4
2 1 N d	1 0 4. 7	2 2 7. 5	2. 1 7
2 1 N s	2 0 4. 2	3 9 3. 6	1. 9 3
2 1 D s	1 3 1. 8	2 9. 3	0. 2 2
S B 4 N	1 9 0. 5	8 3 3. 7	4. 3 8
2 2 N d	1 3 8. 0	6 1 2. 4	4. 4 4
2 2 N s	1 1 2. 2	3 9 6. 0	3. 2 9
2 2 D d	1 0 7. 2	6 0. 7	0. 5 7

表 8-9 (c) 採集生物量と推定生物量および両者の比 (50 kHz)

50 kHz

測点	沈 殿 量 VV	推 定 沈 殿 量 VV'	VV' / VV
3 N d	1 0 2. 3	1 3 6. 8	1. 3 4
5 N d	8 5 1. 1	1 3 0. 6	0. 1 5
5 N s	2 3 4 4. 2	8 8 7. 2	0. 3 8
6 N d	5 6. 2	1 2 8. 2	2. 2 8
6 N s	5 5. 0	1 2 8. 2	2. 3 3
7 N d	5 0. 1	4 6. 3	0. 9 3
7 N s	8 5. 1	3 2. 8	0. 3 9
8 N d	3 8. 9	3 7. 6	0. 9 7
8 N s	2 6. 9	2 0. 2	0. 7 5
9 N d	3 3. 9	8 2. 8	2. 4 4
9 D s	2 6. 9	2 1. 8	0. 8 1
G 2 N s	1 3 8. 0	3 9. 6	0. 2 9
1 3 N d	5 5. 0	8 9. 3	1. 6 3
1 4 N d	6 7. 6	2 8. 8	0. 4 3
1 4 N s	8 9. 1	3 5. 3	0. 4 0
1 6 - 1	5 0 1. 2	8 4 7. 2	1. 6 9
1 6 - 3	4 3 6. 5	4 3 2. 5	0. 9 9
1 6 - 4	5 7 5. 4	1 1 9 6. 7	2. 0 8
1 9 D s	1 0 4. 7	9 6. 8	0. 9 3
2 0 D d	1 0 2. 3	7 8. 5	0. 7 7
2 1 N d	1 0 4. 7	9 7. 3	0. 9 3
2 1 N s	2 0 4. 2	2 3 3. 9	1. 1 5
2 1 D s	1 3 1. 8	2 0. 0	0. 1 5
S B 4 N	1 9 0. 5	5 4 4. 5	2. 8 6
2 2 N d	1 3 8. 0	5 4 7. 0	3. 9 7
2 2 N s	1 1 2. 2	3 4 5. 1	3. 0 8
2 2 D d	1 0 7. 2	1 8. 5	0. 1 7

表 8-9 (d) 採集生物量と推定生物量および両者の比 (38 kHz)

38 kHz

測点	沈澱量 VV	推定沈澱量 VV'	VV'/VV
3 N d	1 0 2. 3	1 9 2. 3	1. 8 8
5 N d	8 5 1. 1	2 0 6. 1	0. 2 4
5 N s	2 3 4 4. 2	1 0 7 4. 0	0. 4 6
6 N d	5 6. 2	1 4 4. 9	2. 5 8
6 N s	5 5. 0	1 4 4. 9	2. 6 4
7 N d	5 0. 1	6 2. 2	1. 2 4
7 N s	8 5. 1	4 2. 1	0. 4 9
8 N d	3 8. 9	5 1. 5	1. 3 2
8 N s	2 6. 9	2 7. 8	1. 0 3
9 N d	3 3. 9	6 7. 8	2. 0 0
9 D s	2 6. 9	2 1. 9	0. 8 2
G 2 N s	1 3 8. 0	5 1. 4	0. 3 7
1 3 N d	5 5. 0	6 3. 0	1. 1 4
1 4 N d	6 7. 6	3 1. 5	0. 4 7
1 4 N s	8 9. 1	3 6. 4	0. 4 1
1 6 - 1	5 0 1. 2	9 3 5. 4	1. 8 7
1 6 - 3	4 3 6. 5	7 4 8. 2	1. 7 1
1 6 - 4	5 7 5. 4	1 1 5 0. 8	2. 0 0
1 9 D s	1 0 4. 7	9 1. 0	0. 8 7
2 0 D d	1 0 2. 3	7 6. 4	0. 7 5
2 1 N d	1 0 4. 7	1 4 1. 6	1. 3 5
2 1 N s	2 0 4. 2	2 3 8. 8	1. 1 7
2 1 D s	1 3 1. 8	7 9. 8	0. 6 1
S B 4 N	1 9 0. 5	6 8 2. 3	3. 5 8
2 2 N d	1 3 8. 0	5 1 4. 0	3. 7 2
2 2 N s	1 1 2. 2	3 8 9. 9	3. 4 8
2 2 D d	1 0 7. 2	3 6. 2	0. 3 4

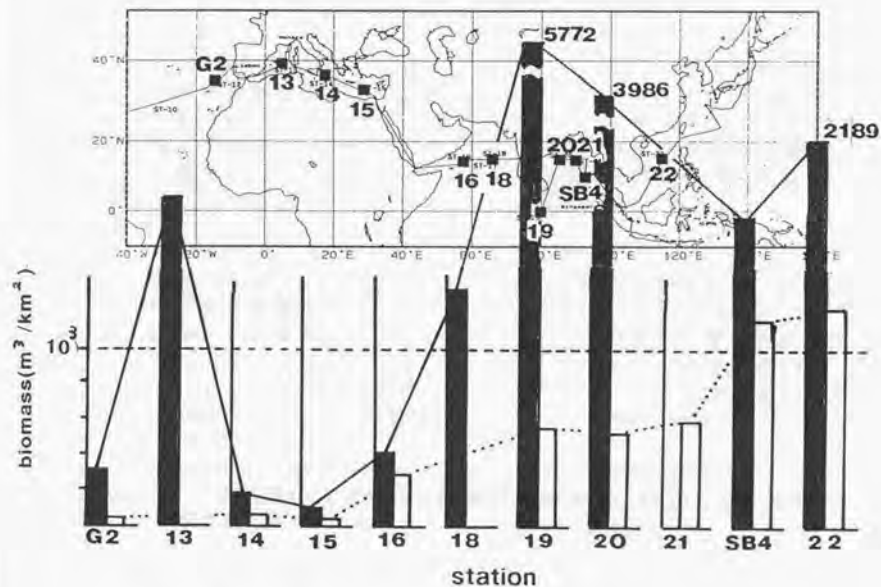
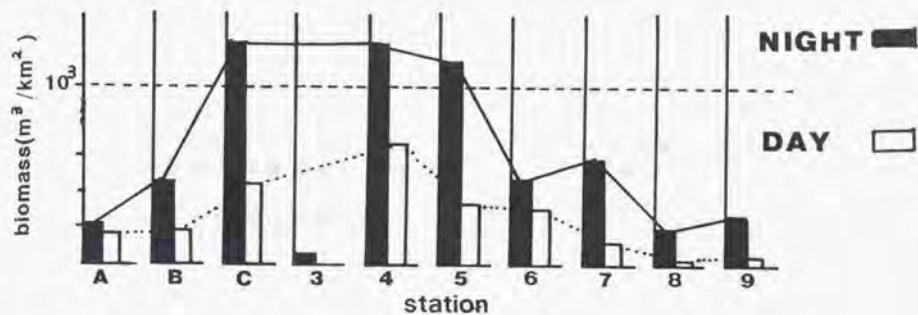
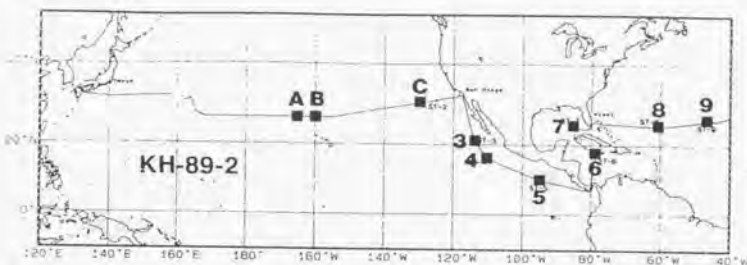


図9-1 世界主要海域の推定生物量

黒バー：夜間、白バー：昼間

推定生物量は水深120mまでで、単位は [m³/km²]

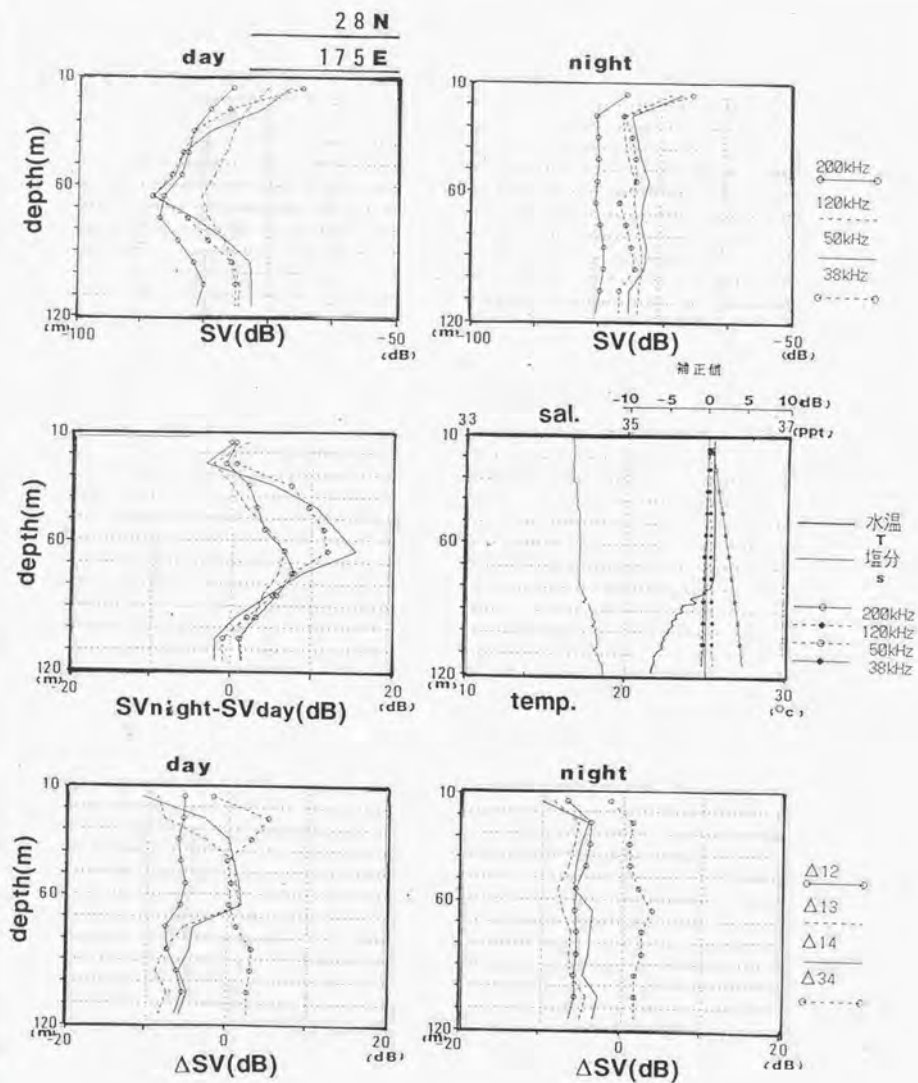
付図 (a) ~ (u)

世界主要海域の平均体積散乱強度分布および周波数特性

観測点名	
緯度	
経度	
昼間	夜間
4周波数による平均 体積散乱強度鉛直分布 (周波数区別は右欄外)	4周波数による平均 体積散乱強度鉛直分布 (周波数区別は右欄外)
	音速・吸収減衰補正值
各周波数の昼夜の 平均体積散乱強度差 * 正の値は夜間大 (周波数区別は上部右 欄外)	C T Dによる水温、塩分 太線：水温 (temp.) 細線：塩分 (sal.) 音速吸収減衰補正值 (周波数区別は右欄外)
昼間	夜間
周波数間の平均 体積散乱強度差 (組合せは右欄外) ただし、 $\Delta 12$ 、 $\Delta 13$ $\Delta 14$ 、 $\Delta 34$ のみ	周波数間の平均 体積散乱強度差 (組合せは右欄外) ただし、 $\Delta 12$ 、 $\Delta 13$ $\Delta 14$ 、 $\Delta 34$ のみ

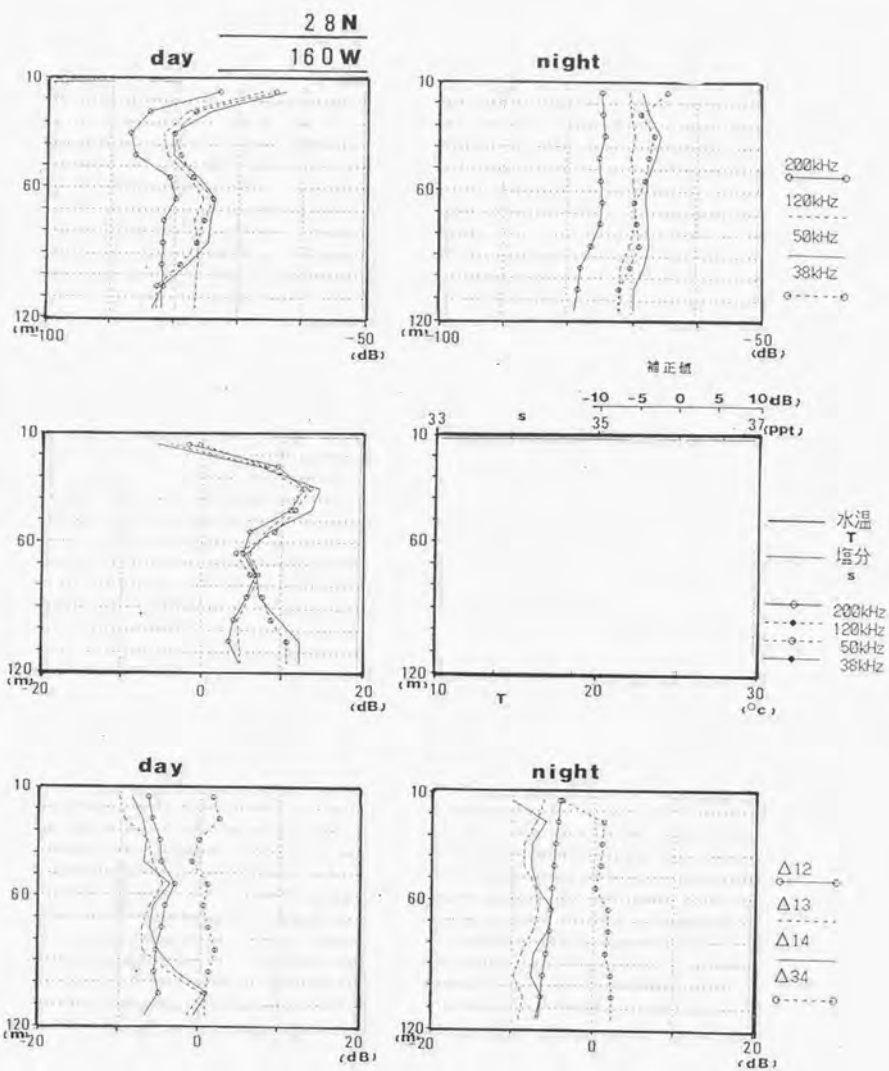
尚、(d)ST. 3, (l)ST. 13, (p)ST. 18は昼間データなし、(s)ST. 21は夜間データなし
(a)ST. 16は第7層以下のデータなし

ST. A



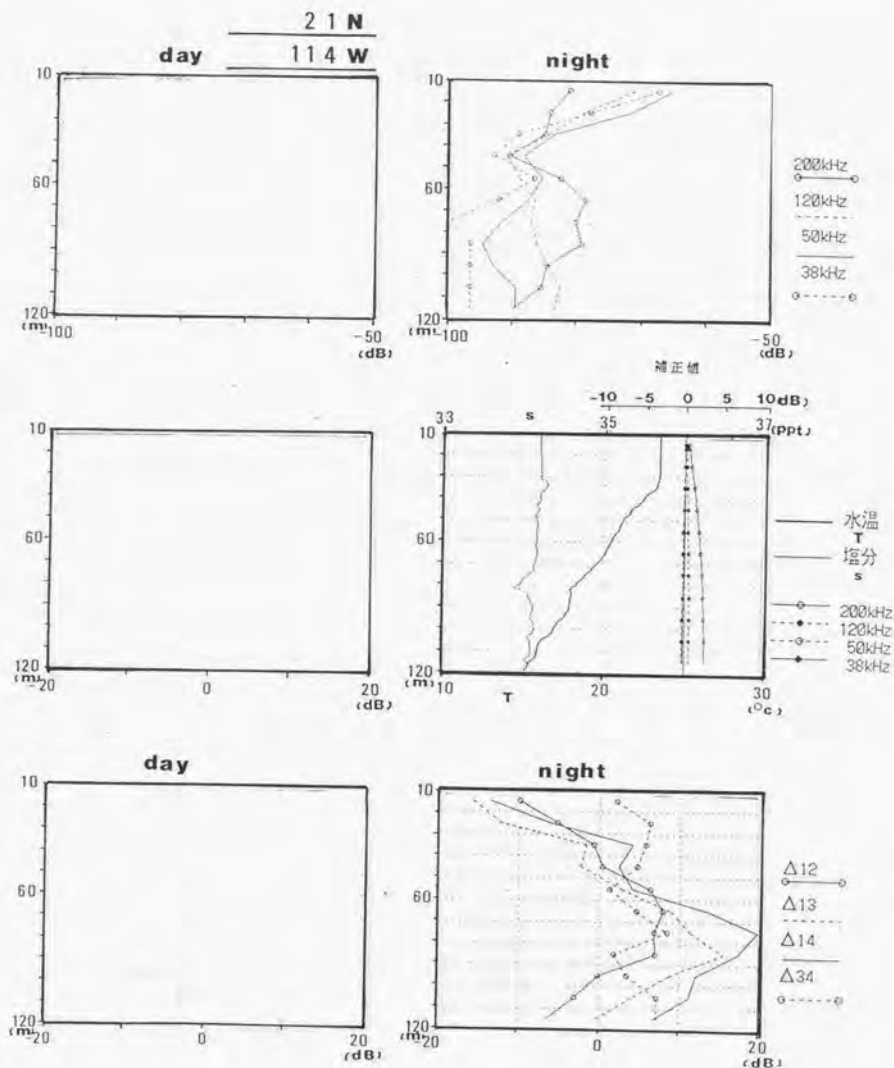
(a)

ST. B



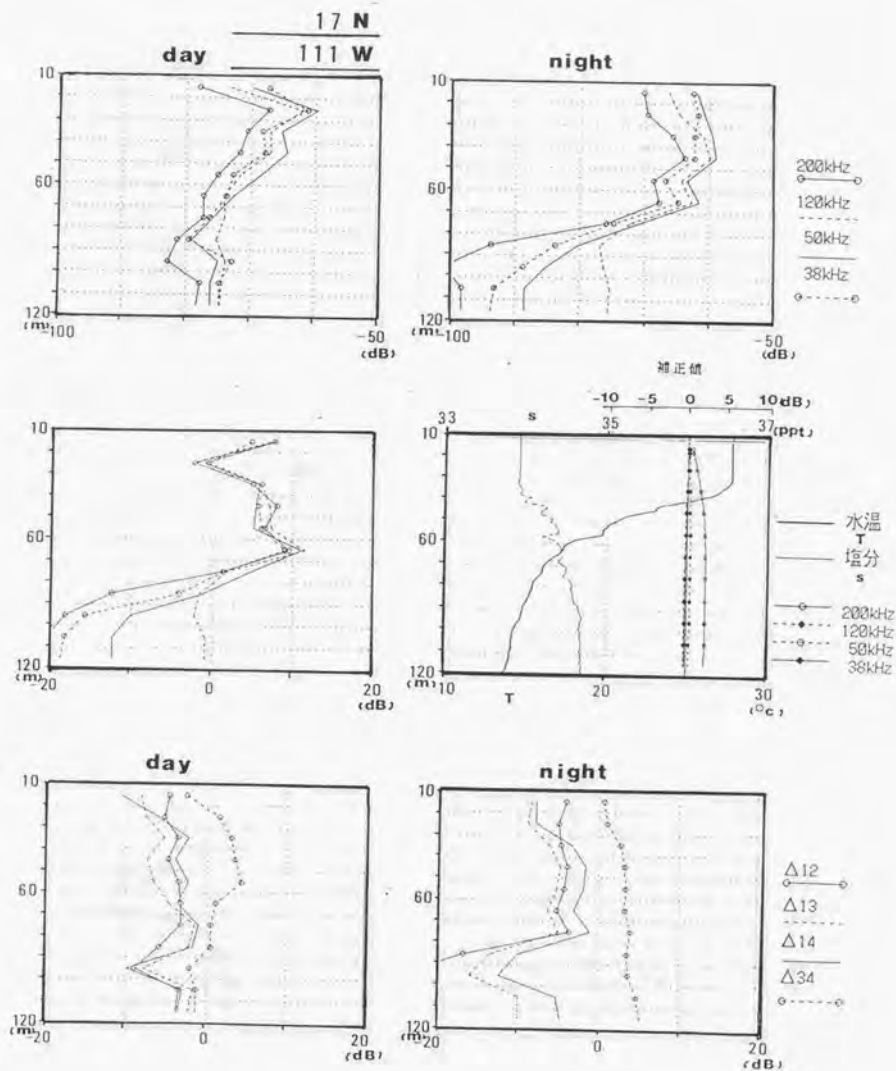
(b)

ST. 3



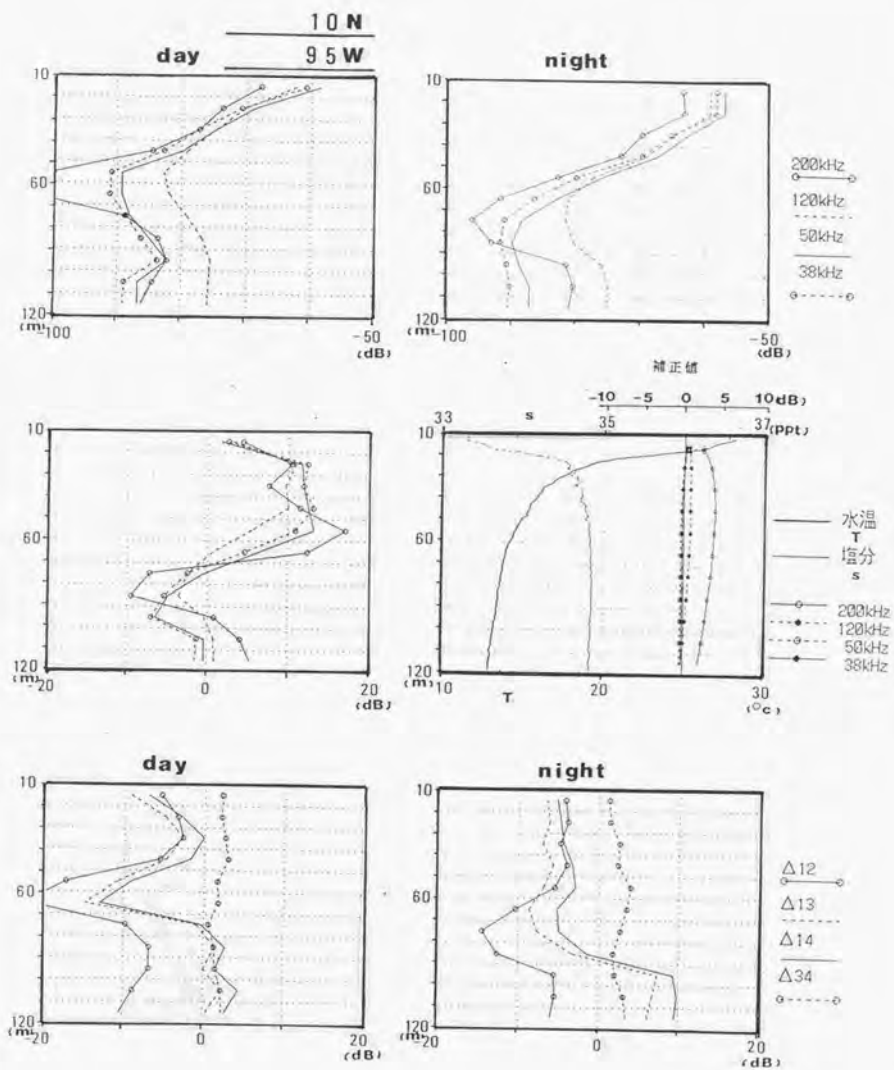
(d)

ST. 4



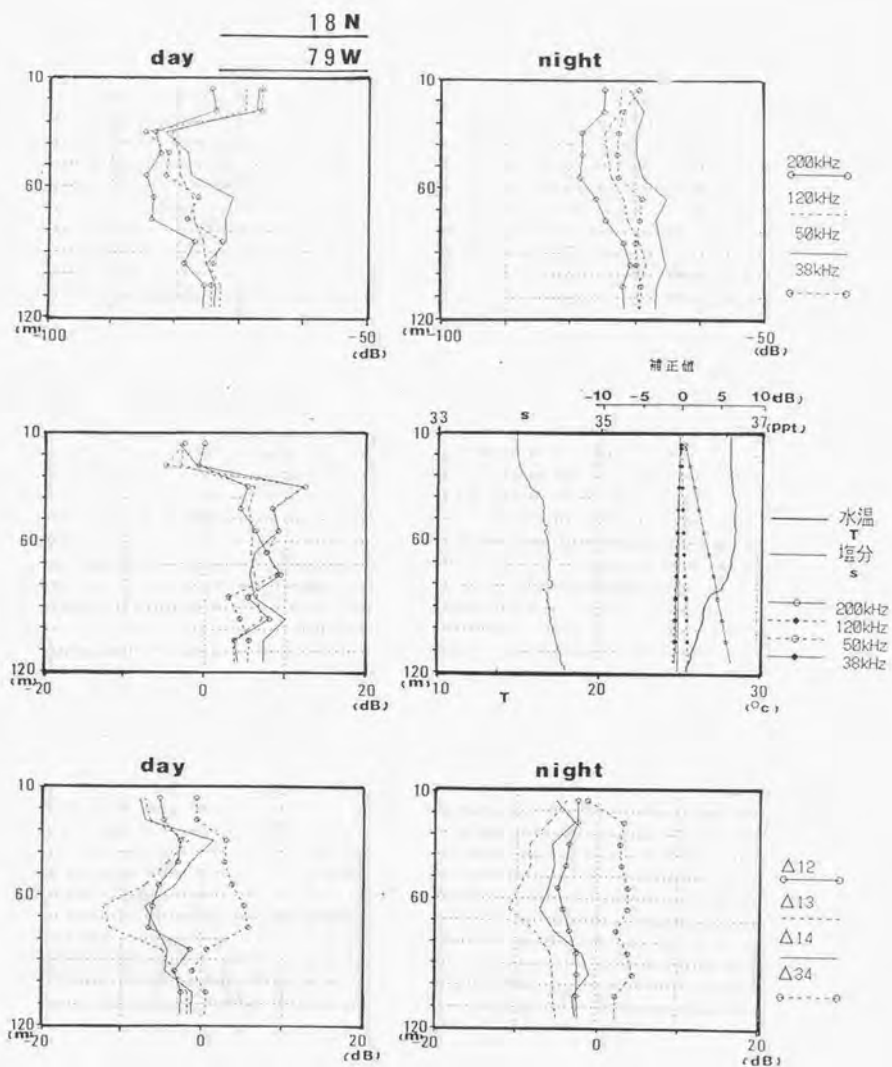
(e)

ST. 5



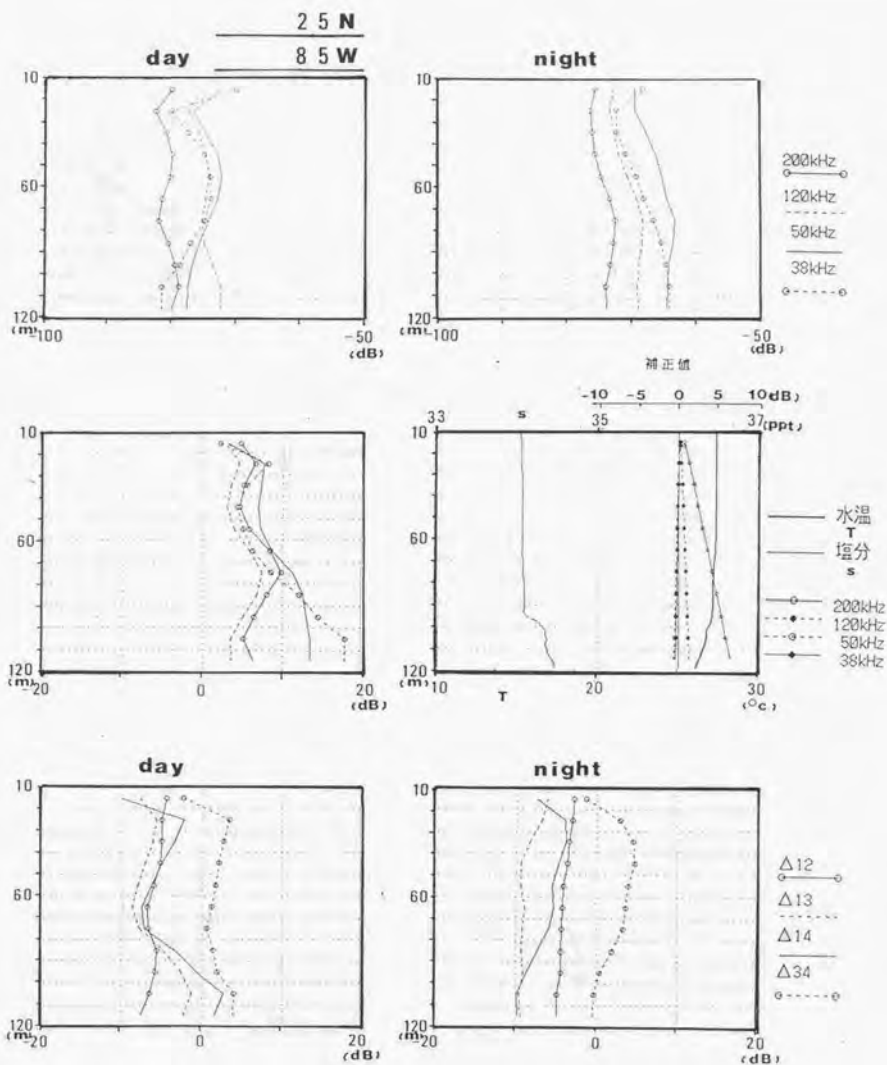
(f)

ST. 6



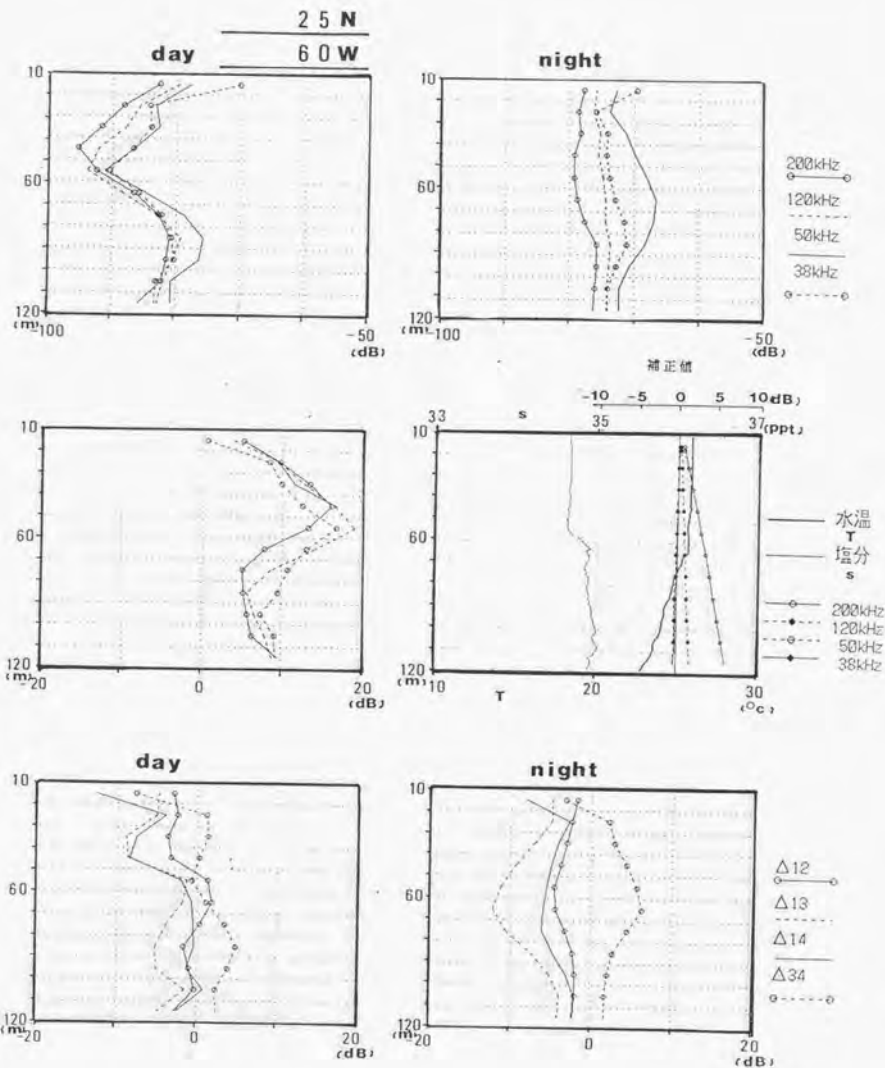
(g)

ST. 7

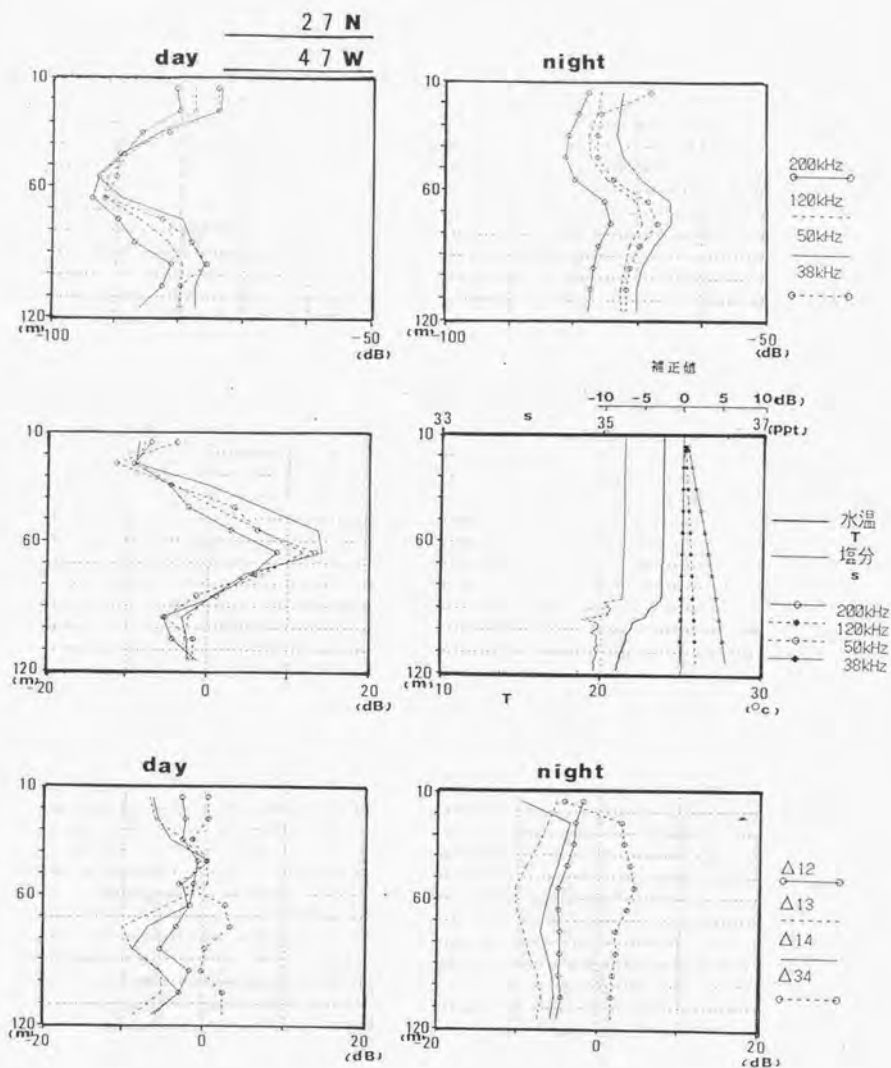


(h)

ST. 8

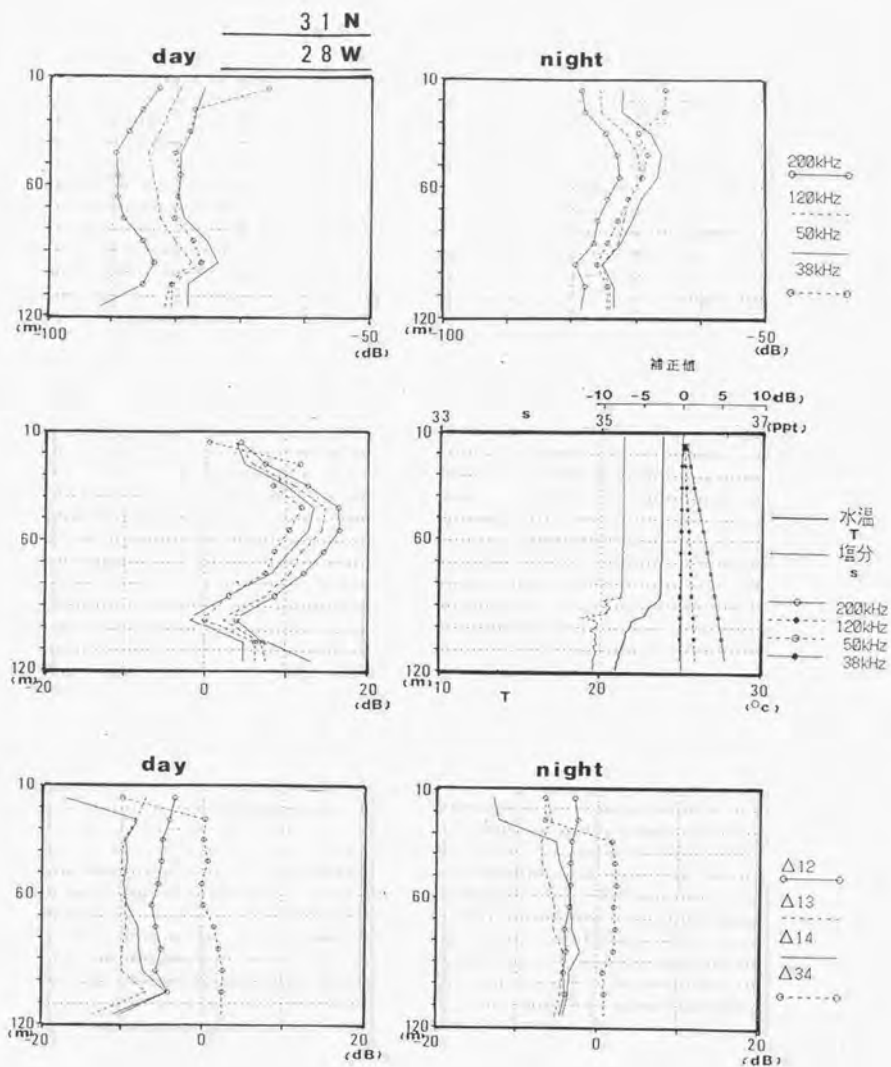


(i)



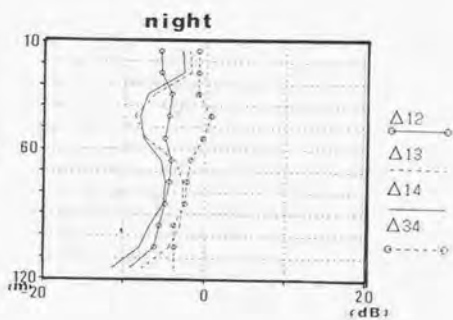
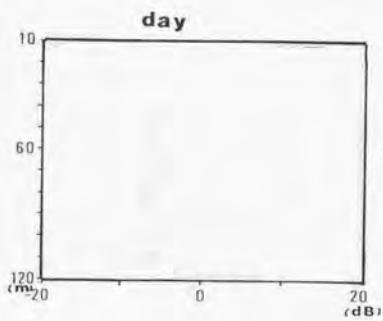
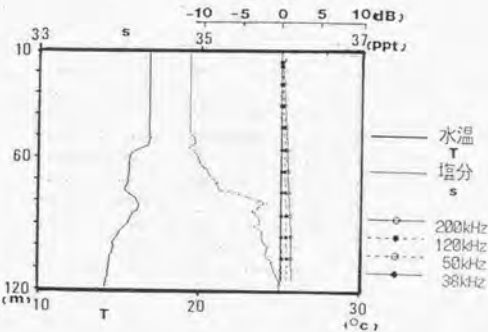
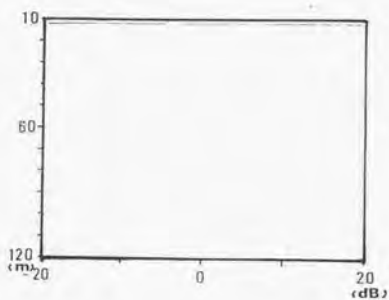
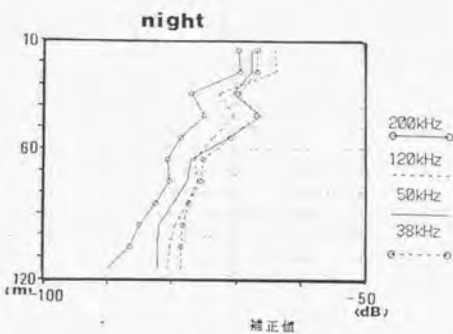
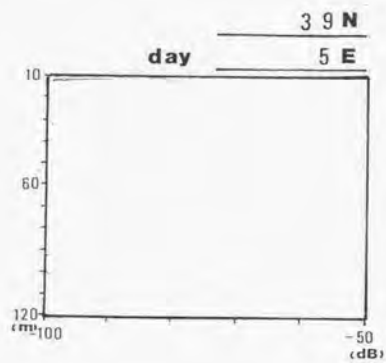
(j)

ST. G2



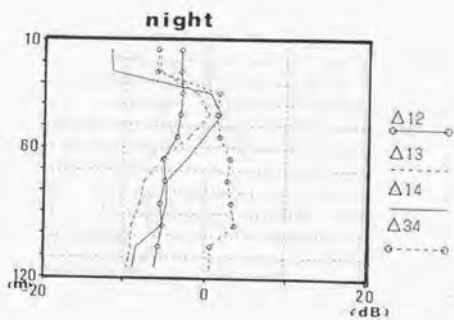
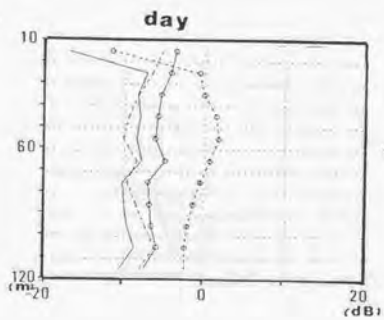
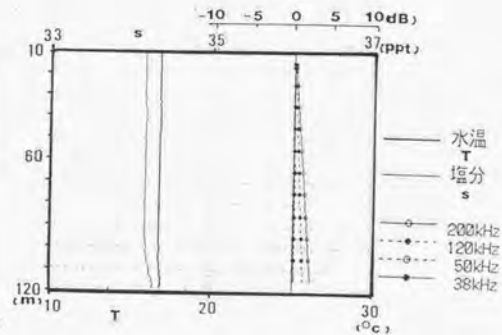
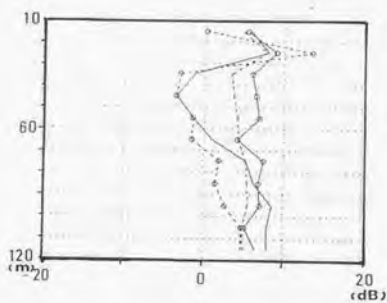
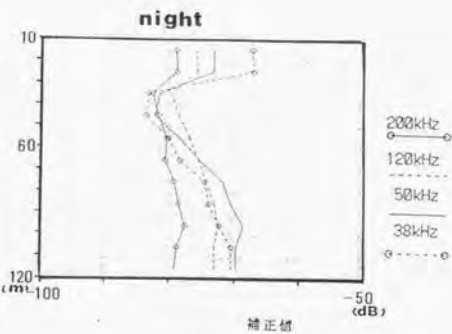
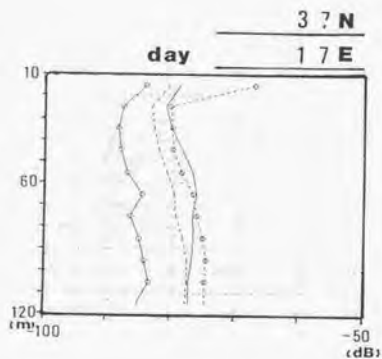
(k)

ST.13

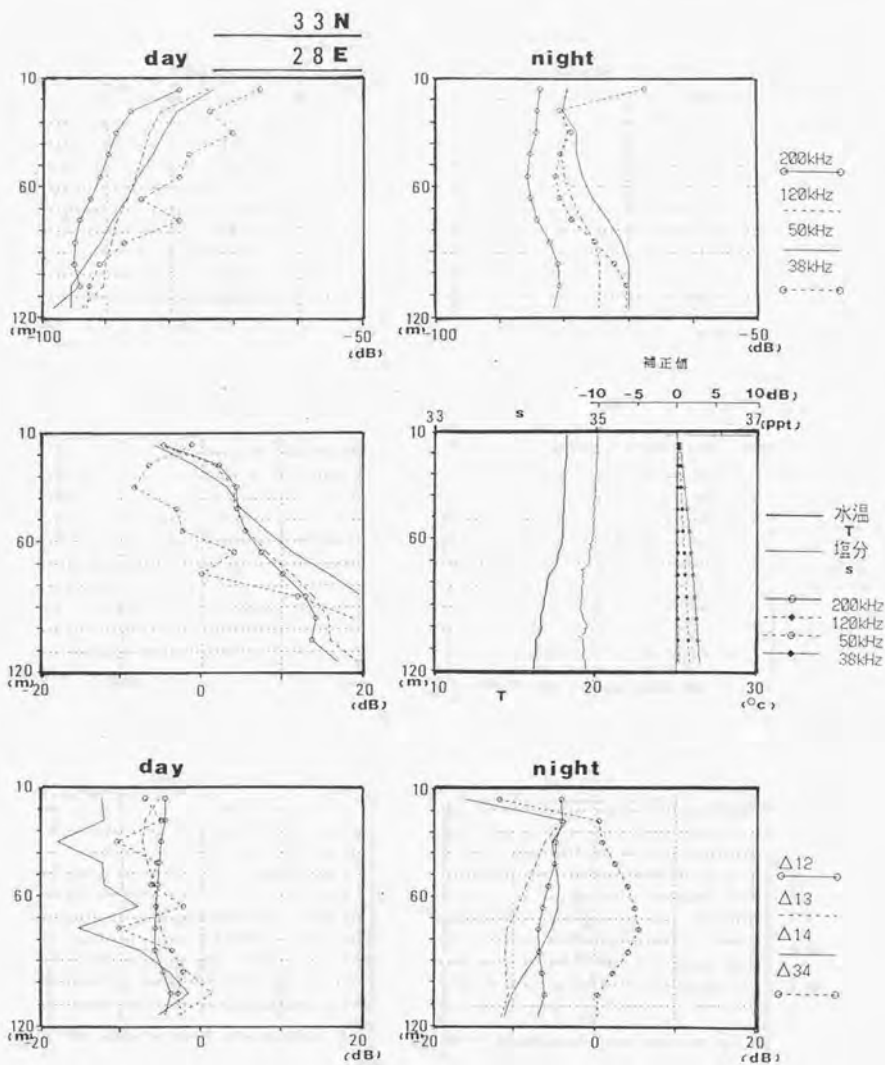


(I)

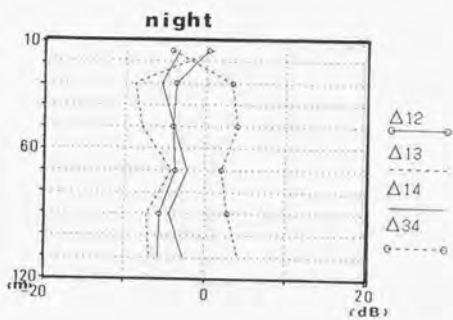
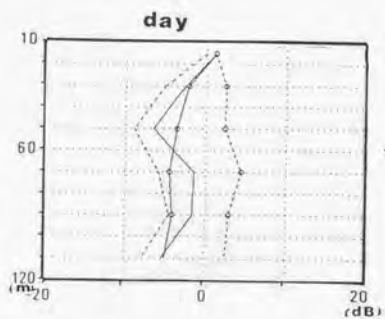
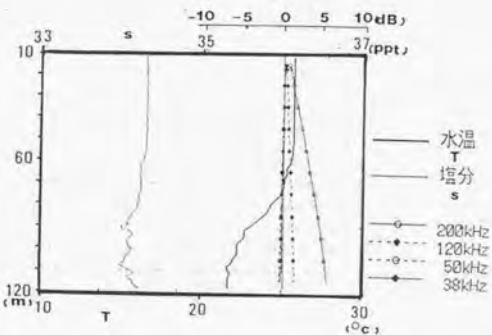
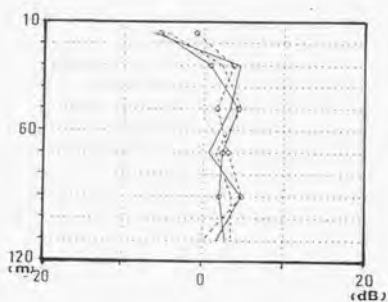
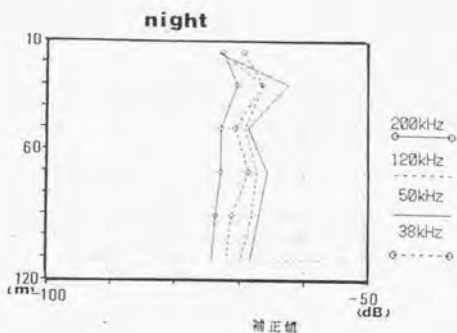
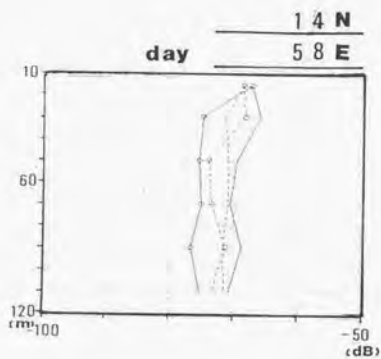
ST. 14



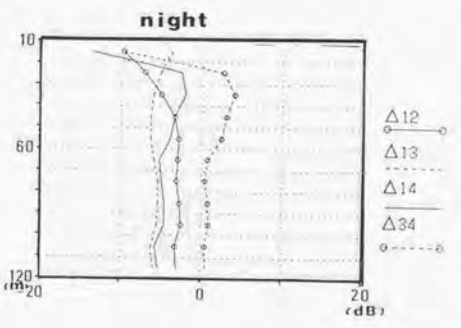
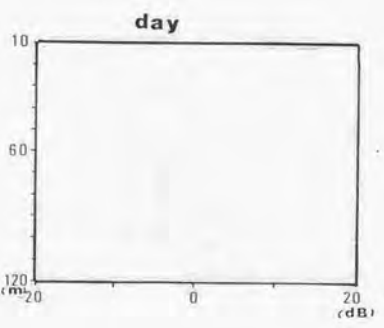
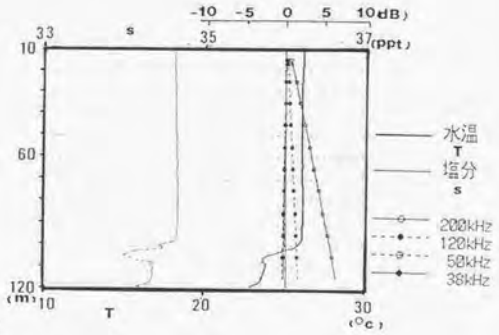
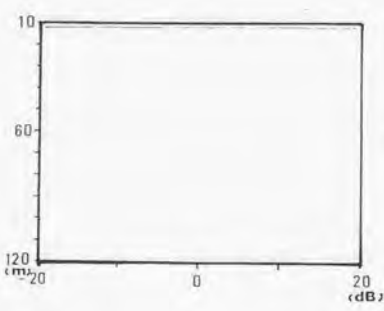
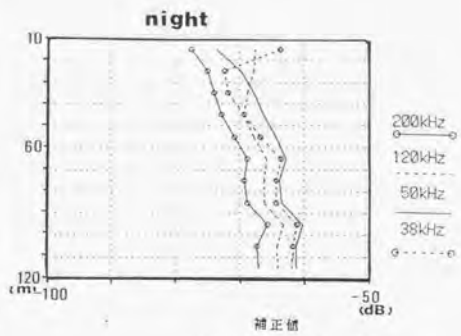
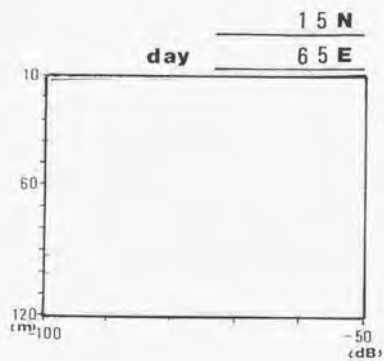
(m)



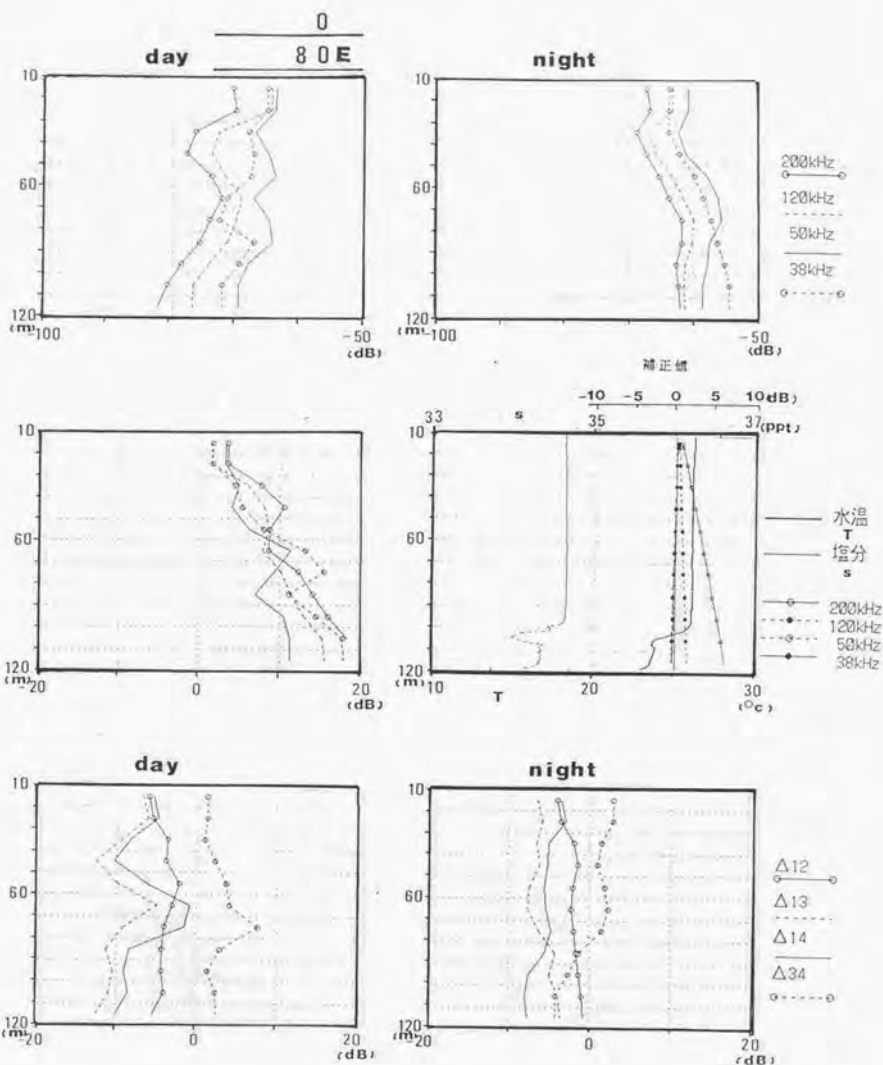
(n)



(o)

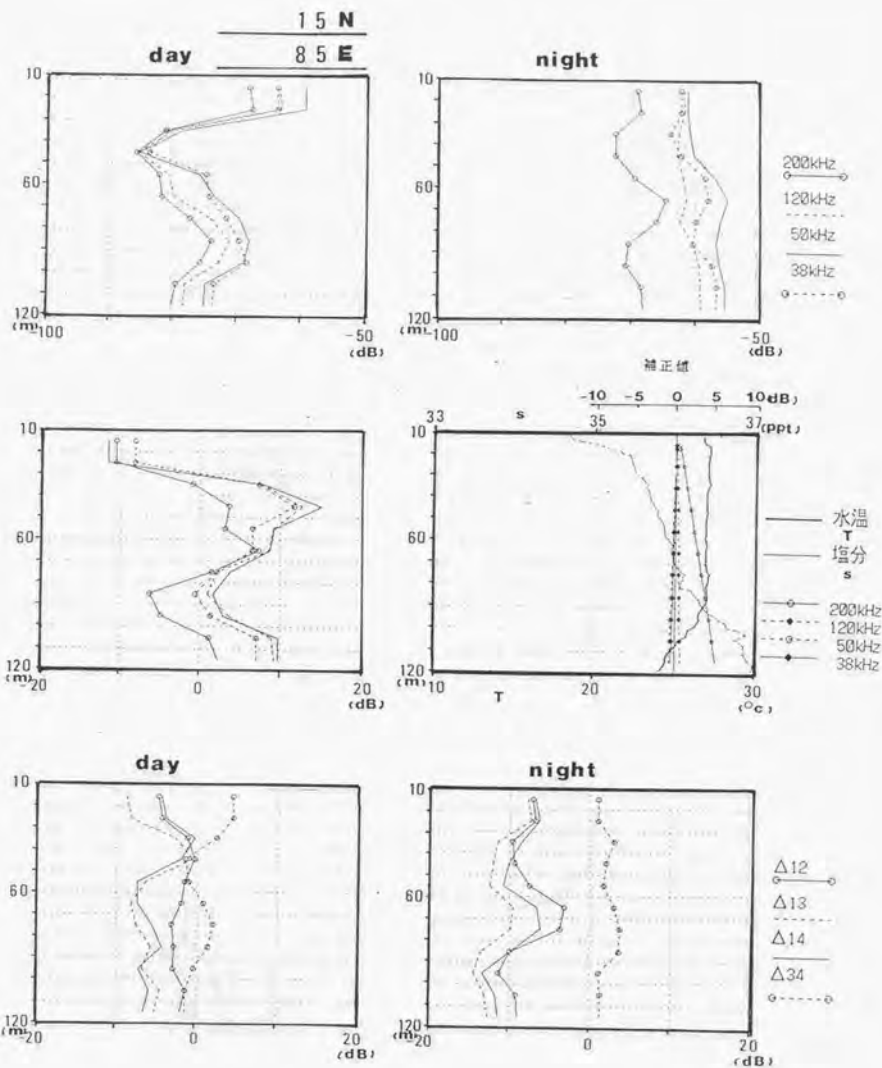


(p)



(q)

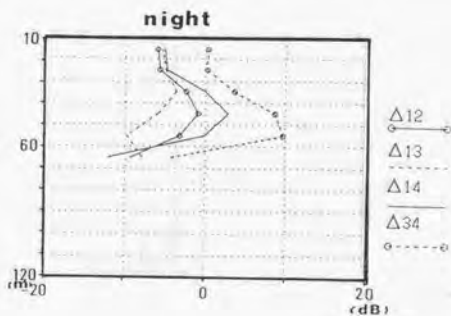
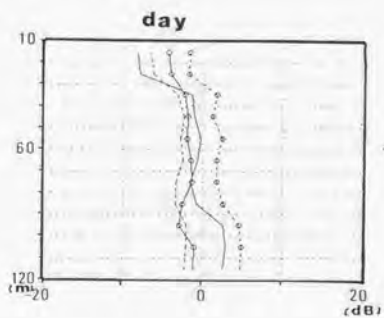
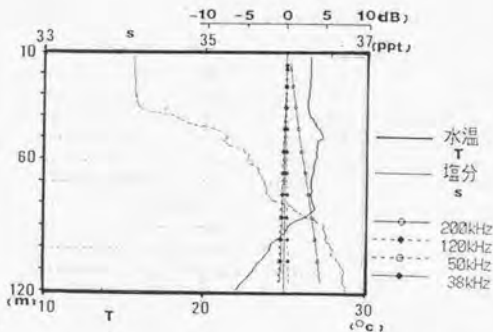
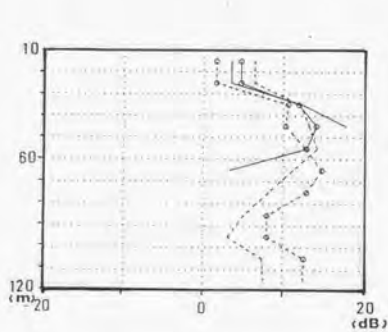
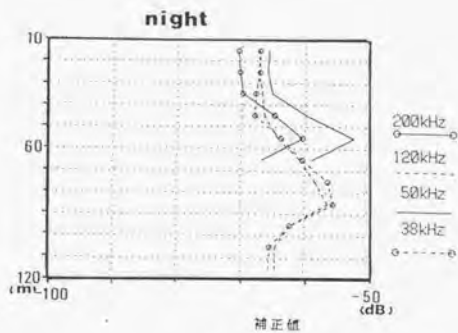
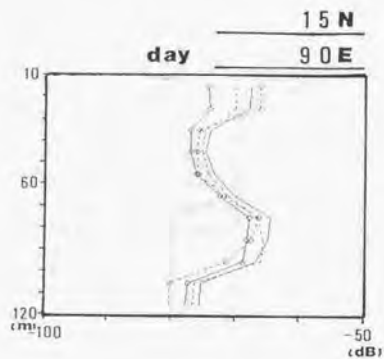
ST. 20



(r)

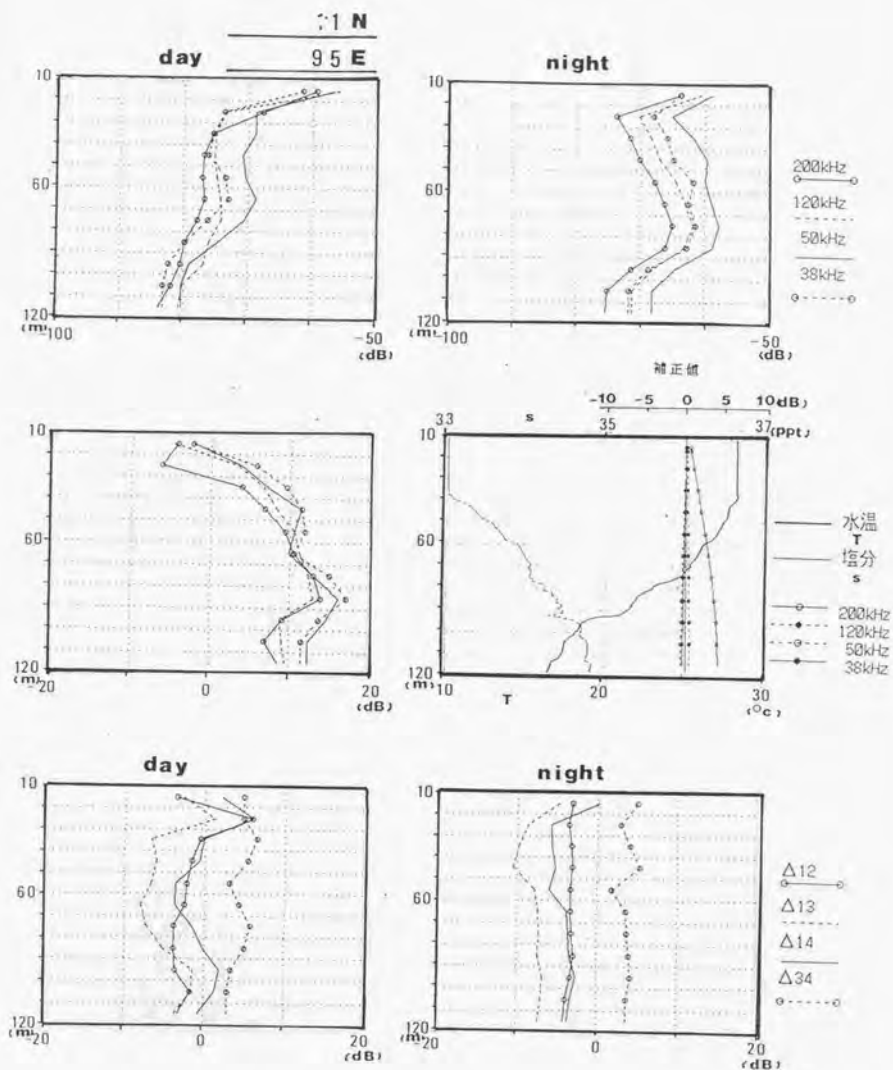
21P

ST. 21

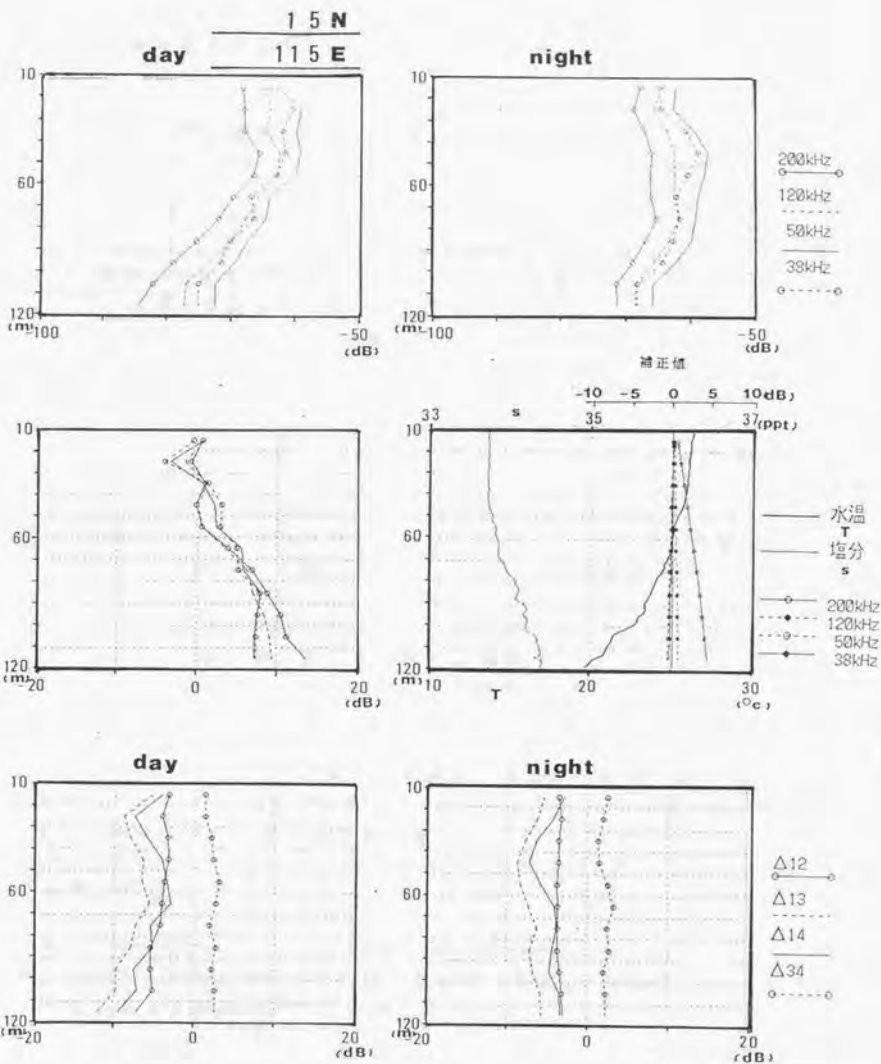


(s)

S T, SB4



(t)



(u)

付表 (a) ~ (u)

世界主要海域の推定生物および支配的サイズランク

上段：夜間の観測結果および推定値

計測値	
表右の $dsv_{12} \sim dsv_{34}$ は周波数の組合せによる平均体積散乱強度差 $\Delta_{12} \sim \Delta_{34}$ の値である。 表中の単位はすべて [dB] layer1 ~ 12 は積分層を示す	
推定値	
各周波数の値は補正平均散乱強度を示す、単位は [dB] ave.: 各層の4周波数平均値(CSV)、max.: 各周波数の最大値 min.: 各周波数の最小値、rank: 支配的サイズランク ◎△×: 推定段階 ave.: 各層の平均値からの推定生物量 [m^3/km^2] max.: 各層の最大値からの推定生物量 [m^3/km^2] min.: 各層の最小値からの推定生物量 [m^3/km^2]	
total biomass: 1 から 11 層までの推定生物量 [m^3/km^2]	

下段：昼間の観測結果および推定値

上段と同じ

尚、(d)ST. 3, (l)ST. 13, (p)ST. 18は昼間データなし、(s)ST. 21は夜間データなし
(o)ST. 16は第7層以下のデータなし

ST.A night

Layer	observaton									
	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	dsv1	dsv2	dsv3	dsv4	dsv5	dsv6
1	-75.4	-68.4	-66.8	-66.2	-6.9	-8.5	-10.2	-1.7	-3.3	-1.6
2	-80.0	-76.1	-74.5	-75.7	-4.0	-5.5	-4.3	-1.8	-0.4	1.2
3	-79.8	-75.7	-73.8	-74.5	-4.1	-6.0	-5.2	-1.9	-1.1	0.8
4	-79.6	-75.0	-73.0	-73.9	-4.6	-6.7	-5.8	-2.1	-1.1	0.9
5	-79.7	-73.9	-71.7	-72.7	-5.8	-8.0	-6.0	-2.2	-0.2	2.0
6	-80.0	-74.1	-72.6	-76.3	-5.9	-7.4	-3.7	-1.5	2.2	3.7
7	-79.2	-73.5	-72.8	-75.2	-6.7	-6.4	-4.0	-0.7	1.7	2.4
8	-78.6	-72.9	-72.0	-74.4	-5.7	-6.6	-4.2	-0.9	1.4	2.4
9	-78.6	-72.6	-72.2	-73.7	-6.0	-6.4	-4.9	-0.4	1.1	1.5
10	-79.1	-73.2	-74.6	-76.1	-6.9	-4.5	-3.0	1.4	3.0	1.5
11	-79.8	-73.2	-74.6	-76.2	-6.6	-8.2	-3.6	1.4	3.0	1.6
ave.	-78.8	-73.0	-71.9	-72.4	-5.9	-6.9	-6.4	-1.1	-0.6	0.5

estimation

Layer	estimation										
	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	ave.	max.	min.	rank	ave.	max.	min.
1	-65.0	-59.6	-63.5	-63.8	-62.6	-59.0	-66.0	30 Δ	66	130	20
2	-71.2	-67.9	-73.4	-71.6	-70.6	-67.9	-73.4	27 X	10	19	8
3	-70.9	-67.6	-72.7	-70.7	-70.1	-67.6	-72.7	27 X	12	21	6
4	-70.8	-66.9	-71.5	-70.1	-69.5	-66.9	-71.8	27 Δ	14	25	8
5	-70.8	-65.8	-70.8	-69.9	-68.8	-65.8	-70.8	27 Δ	16	31	10
6	-71.5	-66.5	-72.6	-70.3	-69.5	-66.5	-72.6	25 Δ	13	27	7
7	-70.6	-65.6	-72.4	-70.3	-68.9	-65.6	-72.4	25 X	15	33	7
8	-69.9	-65.1	-71.5	-69.5	-68.3	-65.1	-71.5	26 X	18	37	8
9	-69.5	-64.5	-71.1	-69.9	-68.0	-64.5	-71.1	27 X	19	42	9
10	-71.6	-67.0	-72.6	-69.6	-68.2	-66.6	-72.6	21 X	18	33	7
11	-72.3	-67.0	-72.6	-68.6	-68.3	-65.6	-72.6	21 X	18	33	7
SV-ave.					-67.8	-64.8	-71.0				
Total biomass					219	422	104		[m ³ /km ²]		
ave.max.min.											

ST.A day

Layer	observaton									
	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	dsv1	dsv2	dsv3	dsv4	dsv5	dsv6
1	-75.8	-70.2	-66.9	-65.0	-5.5	-8.9	-10.8	-3.4	-5.3	-1.9
2	-79.2	-73.7	-71.2	-76.2	-5.6	-8.0	-3.0	-2.4	2.5	5.0
3	-81.9	-75.7	-72.1	-81.9	-6.2	-2.8	0.0	3.4	5.3	2.9
4	-82.7	-76.8	-83.6	-83.5	-5.9	0.8	0.7	6.8	6.7	-0.1
5	-83.8	-78.5	-84.8	-85.2	-5.3	1.0	1.4	6.3	6.7	0.4
6	-85.6	-80.7	-86.1	-88.3	-5.0	1.5	1.7	7.4	7.6	0.2
7	-87.1	-79.4	-81.7	-82.8	-7.7	-5.4	-4.3	2.3	3.4	1.1
8	-84.3	-76.8	-76.6	-79.6	-7.5	-7.7	-4.7	-0.2	2.7	3.0
9	-81.7	-75.4	-72.8	-75.7	-6.3	-8.9	-6.0	-2.6	0.3	2.9
10	-80.1	-74.5	-72.6	-75.1	-5.6	-7.5	-5.9	-1.9	0.7	2.5
11	-81.1	-74.6	-72.5	-75.2	-6.5	-8.5	-5.9	-2.0	0.6	2.5
ave.	-81.0	-75.1	-73.5	-73.8	-5.9	-7.6	-7.3	-1.6	-1.3	0.3

Layer	estimation										
	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	ave.	max.	min.	rank	ave.	max.	min.
1	-66.4	-61.4	-63.7	-63.6	-63.4	-61.4	-66.4	30 Δ	55	86	26
2	-71.2	-66.7	-71.1	-67.9	-68.8	-66.7	-71.2	23 Δ	16	28	9
3	-75.0	-70.4	-74.3	-69.1	-71.5	-69.1	-75.0	19 Δ	8	18	4
4	-67.5	-61.9	-69.1	-69.4	-65.8	-61.9	-69.4	100 Δ	31	77	14
5	-77.2	-73.8	-78.6	-71.3	-74.3	-71.3	-78.6	15 Δ	4	9	2
6	-80.3	-76.6	-80.2	-73.2	-76.6	-73.2	-80.3	17 Δ	3	5	1
7	-79.5	-73.2	-79.7	-72.2	-74.9	-72.2	-79.7	31 X	4	7	1
8	-75.8	-69.3	-76.6	-73.6	-72.8	-69.3	-76.6	25 Δ	5	14	3
9	-73.1	-67.6	-72.4	-70.8	-70.4	-67.6	-73.1	26 Δ	11	21	6
10	-71.4	-66.6	-72.1	-70.2	-69.5	-66.6	-72.1	26 Δ	13	25	7
11	-72.4	-66.8	-72.2	-70.3	-69.8	-66.8	-72.4	26 Δ	13	25	7
SV-ave.					-69.0	-66.3	-72.1				
Total biomass					108	312	81		[m ³ /km ²]		

(a)

ST.B night

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	36kHz	dev1	dev2	dev3	dev4	dev5	dev6
1	-74.8	-70.5	-68.6	-64.7	-4.2	-6.2	-10.1	-2.0	-6.9	-3.9
2	-74.6	-70.3	-67.8	-68.7	-4.4	-7.1	-5.9	-2.7	-1.6	1.2
3	-74.2	-69.6	-66.7	-66.6	-4.7	-8.6	-7.6	-3.9	-2.9	1.0
4	-75.1	-70.2	-66.6	-67.5	-4.9	-8.6	-7.7	-3.6	-2.7	0.9
5	-74.9	-69.8	-67.8	-68.0	-5.1	-7.1	-6.5	-2.0	-1.8	0.2
6	-74.7	-69.5	-67.9	-69.7	-5.2	-6.8	-8.0	-1.6	0.2	1.8
7	-74.9	-69.5	-67.5	-69.3	-5.4	-7.4	-8.6	-2.0	-0.2	1.8
8	-76.2	-70.4	-67.4	-70.3	-5.8	-8.8	-7.3	-3.6	-1.4	2.2
9	-77.9	-71.7	-68.1	-70.3	-6.2	-9.8	-7.6	-3.6	0.2	2.3
10	-78.2	-71.8	-69.6	-71.5	-6.4	-8.6	-6.2	-2.1	0.3	2.3
11	-78.7	-71.7	-69.6	-72.0	-7.0	-9.1	-6.7	-2.1	0.3	2.3
ave.	-75.6	-70.4	-67.7	-68.4	-5.2	-7.9	-7.2	-2.7	-2.0	0.7

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	36kHz	ave.	max.	min.	rank	ave.	max.	min.
1	-64.8	-61.0	-63.1	-63.1	-62.8	-61.0	-64.8	34 Δ	63	96	40
2	-65.8	-62.1	-66.4	-64.9	-64.5	-62.1	-66.4	27 Δ	43	73	27
3	-65.2	-61.2	-63.9	-63.8	-63.8	-61.2	-66.2	28 Δ	56	90	36
4	-66.1	-61.8	-64.7	-64.7	-64.0	-61.8	-66.1	28 Δ	47	78	29
5	-65.8	-61.5	-66.0	-65.2	-64.2	-61.5	-66.0	28 Δ	46	88	30
6	-65.8	-61.4	-66.8	-65.9	-64.4	-61.4	-66.8	27 Δ	44	88	25
7	-66.1	-61.4	-66.4	-66.6	-64.3	-61.4	-66.4	27 Δ	45	87	27
8	-67.3	-62.3	-66.3	-66.1	-64.8	-62.3	-67.3	27 Δ	40	70	22
9	-69.1	-63.6	-67.0	-66.6	-65.1	-63.6	-69.1	27 Δ	29	52	15
10	-69.3	-63.7	-68.5	-68.1	-66.8	-63.7	-69.3	27 Δ	25	52	14
11	-69.8	-63.6	-68.5	-68.2	-66.8	-63.6	-69.8	27 Δ	25	52	12
SV-ave.					-64.6	-62.0	-66.7				
Total biomass					463	825	279	[m ³ /km ²]			

ST.B day

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	36kHz	dev1	dev2	dev3	dev4	dev5	dev6
1	-73.0	-66.3	-62.8	-64.3	-6.6	-10.2	-8.7	-3.6	-2.1	1.5
2	-84.0	-78.0	-74.4	-76.7	-6.1	-9.6	-7.2	-3.5	-1.9	2.3
3	-87.0	-81.9	-80.4	-80.1	-5.1	-8.6	-6.9	-1.5	-1.8	-0.2
4	-86.2	-81.3	-80.3	-79.2	-4.9	-6.0	-7.1	-1.0	-2.1	-1.1
5	-80.9	-77.7	-76.2	-77.1	-3.2	-4.7	-3.8	-1.5	-0.6	0.9
6	-80.9	-76.5	-73.6	-74.0	-4.4	-6.2	-5.9	-1.9	-1.5	0.4
7	-81.9	-76.4	-74.7	-76.6	-4.8	-7.2	-6.2	-2.5	-1.5	1.0
8	-82.0	-76.3	-78.0	-79.1	-5.7	-4.0	-2.9	-1.7	0.1	1.9
9	-81.7	-76.6	-82.0	-82.7	-5.1	0.3	1.0	5.4	6.2	0.7
10	-83.5	-76.7	-82.0	-82.8	-6.8	-1.5	-0.7	5.3	6.1	0.7
11	-83.5	-76.7	-82.0	-82.8	-6.8	-1.5	-0.7	5.3	6.1	0.7
ave.	-80.1	-74.2	-71.7	-72.0	-5.5	-6.4	-7.1	-2.5	-1.2	1.3

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	36kHz	ave.	max.	min.	rank	ave.	max.	min.
1	-63.9	-68.0	-60.9	-61.4	-60.6	-58.0	-63.9	28 Δ	108	191	49
2	-78.2	-69.8	-73.3	-72.9	-72.4	-69.8	-75.2	27 Δ	7	12	4
3	-75.8	-70.9	-71.7	-73.8	-72.6	-70.9	-76.8	44 Δ	7	10	3
4	-75.1	-70.5	-71.8	-73.2	-72.3	-70.5	-75.1	43 Δ	7	11	4
5	-72.0	-69.6	-75.1	-73.3	-72.1	-69.6	-75.1	27 X	7	13	4
6	-70.8	-67.1	-71.8	-71.1	-69.8	-67.1	-71.8	28 X	13	23	8
7	-72.9	-68.8	-73.3	-71.5	-71.3	-68.3	-73.6	27 Δ	9	16	6
8	-73.0	-68.3	-73.6	-72.8	-71.3	-68.8	-73.3	27 Δ	9	16	6
9	-74.5	-70.1	-76.1	-68.5	-71.3	-68.5	-76.1	21 X	8	17	3
10	-75.1	-71.8	-75.7	-68.8	-72.0	-68.8	-75.7	18 X	8	16	3
11	-75.6	-71.4	-77.2	-70.0	-72.7	-70.0	-77.2	19 X	6	12	
SV-ave.					-68.5	-65.9	-71.6				
Total biomass					187	239	90	[m ³ /km ²]			

(b)

ST.C night

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	dsv1	dsv2	dsv3	dsv4	dsv5	dsv6
1	-72.1	-66.3	-64.8	-54.9	-5.7	-7.3	-17.2	-1.6	-11.6	-9.9
2	-73.8	-69.8	-68.7	-69.3	-4.1	-3.1	-4.5	-1.0	-0.5	0.6
3	-72.7	-68.5	-66.5	-67.5	-4.2	-6.3	-5.1	-2.0	-0.8	1.2
4	-71.4	-67.0	-53.7	-65.1	-4.4	-7.8	-6.4	-3.3	-1.9	1.4
5	-71.9	-67.4	-63.7	-64.6	-4.5	-8.2	-7.3	-3.7	-2.8	0.9
6	-69.5	-65.7	-61.9	-63.0	-3.8	-7.6	-6.6	-3.6	-2.7	1.1
7	-67.8	-64.0	-61.0	-62.2	-3.8	-6.8	-9.5	-2.0	-1.8	1.2
8	-68.8	-64.7	-62.6	-63.9	-4.1	-6.2	-4.9	-2.1	-0.9	1.2
9	-71.0	-66.8	-64.6	-65.9	-4.2	-6.4	-5.1	-2.2	-0.9	1.3
10	-72.7	-68.2	-66.5	-66.0	-4.5	-7.2	-6.7	-2.7	-2.1	0.5
11	-72.6	-68.2	-66.5	-66.1	-4.4	-7.1	-6.5	-2.7	-2.1	0.5
ave.	-70.9	-66.6	-63.9	-62.3	-4.3	-7.0	-8.6	-2.7	-4.4	-1.6

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	ave.	max.	min.	rank	ave.	max.	min.
1	-62.2	-57.0	-59.8	-53.7	-57.0	-53.7	-62.2	39 Δ	229	517	72
2	-65.0	-61.6	-67.6	-65.8	-64.4	-63.6	-67.6	27 X	44	82	21
3	-63.8	-60.4	-65.4	-63.8	-62.9	-60.4	-65.4	27 X	61	110	35
4	-62.6	-58.9	-62.5	-61.3	-61.0	-58.9	-62.6	27 Δ	94	155	66
5	-62.8	-59.1	-61.9	-61.8	-61.2	-59.1	-62.8	28 Δ	92	148	62
6	-60.4	-57.3	-60.1	-60.1	-59.3	-57.3	-60.4	28 Δ	142	223	109
7	-59.0	-56.9	-59.9	-58.4	-58.0	-55.9	-59.9	27 Δ	189	310	122
8	-59.9	-56.6	-61.5	-60.1	-59.1	-56.6	-61.5	27 X	147	262	86
9	-62.2	-58.7	-62.6	-62.1	-61.2	-58.7	-62.5	27 Δ	90	161	53
10	-63.7	-59.8	-63.7	-63.2	-62.3	-59.8	-63.7	28 Δ	71	126	52
11	-63.5	-59.8	-63.7	-63.2	-62.3	-59.8	-63.7	28 Δ	71	124	51
SV-ave.					-60.3	-57.7	-62.6				
Total biomass					1241	2217	729	[m ³ /km ²]			

ST.C day

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	dsv1	dsv2	dsv3	dsv4	dsv5	dsv6
1	-71.7	-65.7	-63.2	-54.5	-5.9	-8.6	-17.2	-2.6	-11.3	-5.7
2	-78.1	-73.7	-71.1	-70.3	-4.5	-7.0	-7.8	-2.6	-3.4	-0.6
3	-80.2	-76.3	-71.1	-70.2	-4.9	-9.1	-9.9	-4.2	-8.0	-0.8
4	-80.1	-75.3	-69.9	-69.9	-4.8	-10.3	-10.3	-5.5	-5.4	0.0
5	-80.7	-74.0	-69.3	-70.5	-5.8	-11.4	-10.2	-5.6	-4.4	1.2
6	-80.0	-74.0	-69.1	-69.8	-6.0	-10.9	-10.2	-4.9	-4.2	0.7
7	-79.7	-73.7	-69.0	-68.0	-6.0	-10.7	-11.7	-4.7	-5.7	-1.0
8	-82.4	-74.8	-73.8	-72.3	-7.6	-8.6	-10.1	-1.0	-2.6	-1.6
9	-83.5	-74.9	-76.7	-77.0	-8.6	-6.8	-6.5	1.8	2.1	0.3
10	-82.7	-74.2	-76.7	-76.1	-8.5	-6.0	-4.6	2.5	4.0	1.4
11	-84.3	-74.2	-76.7	-78.3	-10.1	-7.6	-6.0	2.5	4.1	1.6
ave.	-78.6	-72.4	-69.0	-64.0	-6.2	-9.0	-14.6	-2.9	-8.4	-5.5

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	ave.	max.	min.	rank	ave.	max.	min.
1	-61.8	-66.4	-58.2	-53.3	-56.4	-53.3	-61.8	32 Δ	276	567	79
2	-68.9	-66.1	-68.6	-68.3	-67.4	-65.1	-68.9	29 Δ	22	37	15
3	-71.0	-66.7	-68.6	-68.2	-68.4	-68.7	-71.0	29 Δ	18	26	10
4	-71.1	-66.9	-68.0	-67.1	-68.0	-66.9	-71.1	28 X	19	24	9
5	-71.6	-66.6	-67.5	-67.7	-68.0	-66.6	-71.6	28 Δ	19	26	8
6	-70.9	-66.6	-67.3	-66.9	-67.3	-65.6	-70.9	28 Δ	22	39	10
7	-70.3	-64.9	-65.8	-66.5	-66.5	-64.9	-70.3	30 Δ	27	39	11
8	-73.2	-66.2	-71.3	-70.3	-69.4	-66.2	-73.2	29 Δ	14	29	6
9	-74.7	-66.8	-75.6	-73.2	-71.0	-66.8	-75.6	27 X	10	25	3
10	-75.2	-69.0	-74.7	-67.6	-70.0	-67.6	-75.2	21 X	12	21	4
11	-75.6	-66.4	-76.3	-71.4	-70.9	-66.4	-76.3	26 X	10	28	3
SV-ave.					-64.7	-61.9	-66.2				
Total biomass					446	655	158	[m ³ /km ²]			

(c)

ST.3 night

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	dav1	dav2	dav3	dav4	dav5	dav6
1	-81.5	-71.6	-65.8	-67.9	-9.9	-15.7	-13.6	-5.8	-3.7	2.1
2	-84.5	-79.3	-72.1	-75.3	-5.2	-12.4	-6.2	-7.2	-1.0	6.2
3	-85.3	-84.6	-83.7	-89.4	-0.7	-1.6	4.1	-0.9	4.8	5.7
4	-90.8	-91.2	-88.5	-93.2	0.4	-2.3	2.4	-2.7	2.0	4.7
5	-82.8	-89.1	-85.6	-86.9	6.3	2.8	4.1	-3.5	-2.2	1.3
6	-78.9	-86.8	-87.8	-92.4	7.9	8.9	13.5	1.0	5.6	4.6
7	-80.4	-87.2	-91.7	-100.1	6.8	11.3	19.7	4.5	12.9	8.4
8	-79.5	-86.4	-94.9	-96.7	6.9	15.4	17.2	8.5	10.3	1.8
9	-84.7	-84.6	-93.3	-96.7	-0.1	8.6	12.0	8.7	12.1	3.4
10	-85.6	-82.6	-89.6	-96.7	-3.0	4.0	11.1	7.0	14.1	7.1
11	-90.0	-83.6	-89.6	-96.7	-6.4	-0.4	6.7	6.0	13.1	7.1
ave.	-82.6	-80.2	-75.1	-77.5	-2.5	-7.5	-4.8	-5.0	-2.4	2.7

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	ave.	max.	min.	rank	ave.	max.	min.
1	-72.5	-63.2	-64.0	-65.1	-65.1	-63.2	-72.5	28 Δ	37	57	7
2	-76.0	-71.7	-72.1	-72.3	-72.8	-71.7	-76.0	26 Δ	6	8	3
3	-78.1	-78.8	-80.4	-77.7	-78.6	-77.7	-80.4	20 ●	2	2	1
4	-83.3	-85.0	-86.5	-82.6	-84.1	-82.6	-86.5	21 Δ	0	1	0
5	-75.6	-83.3	-82.3	-76.2	-77.7	-75.2	-83.3	20 X	2	4	1
6	-72.7	-82.7	-80.0	-77.4	-76.6	-72.7	-82.7	17 Δ	3	6	1
7	-75.0	-84.7	-80.9	-82.8	-79.2	-75.0	-84.7	15 Δ	1	4	0
8	-74.7	-85.0	-82.6	-78.2	-78.4	-74.7	-85.0	14 Δ	2	4	0
9	-79.3	-82.1	-82.5	-79.4	-80.6	-79.3	-82.5	15 Δ	1	1	1
10	-79.8	-79.3	-80.3	-80.5	-79.9	-79.3	-80.5	16 ●	1	1	1
11	-82.8	-79.5	-81.8	-81.7	-81.4	-79.5	-82.8	17 Δ	1	1	1
SV-ave.					-73.7	-71.7	-79.3				
Total biomass					57	90	15	l ^m 3/km ² l			

(d)

ST.4 night

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	dsv1	dsv2	dsv3	dsv4	dsv5	dsv6
1	-70.3	-66.2	-61.9	-62.6	-4.1	-8.4	-7.8	-4.3	-3.7	0.6
2	-69.6	-64.0	-60.8	-61.8	-5.0	-8.8	-7.8	-3.8	-2.6	1.0
3	-66.6	-60.9	-59.6	-62.2	-4.7	-6.1	-3.4	-1.4	1.3	2.7
4	-63.8	-59.2	-59.0	-62.2	-3.9	-4.8	-1.6	-0.9	2.3	3.2
5	-68.6	-64.3	-63.4	-66.7	-4.3	-5.2	-1.9	-0.9	2.4	3.3
6	-67.8	-62.6	-61.6	-64.7	-5.2	-6.3	-3.1	-1.1	2.1	3.2
7	-75.9	-72.2	-70.9	-74.8	-3.7	-5.0	-1.1	-1.3	2.6	3.9
8	-53.7	-76.9	-80.2	-83.7	-16.8	-13.5	-10.0	3.3	6.8	3.5
9	-101.1	-76.3	-85.1	-88.7	-24.9	-16.0	-12.4	8.9	12.6	3.6
10	-98.4	-75.3	-88.5	-93.2	-23.1	-9.9	-5.2	13.2	17.9	4.7
11	-98.4	-75.5	-86.5	-93.7	-22.9	-9.9	-4.7	13.0	18.2	5.2
ave.	-69.5	-65.0	-63.3	-65.6	-4.6	-6.2	-3.9	-1.6	0.6	2.3

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	ave.	max.	min.	rank	ave.	max.	min.
1	-61.3	-57.8	-60.1	-59.7	-59.5	-57.8	-61.3	28 Δ	133	197	90
2	-60.6	-56.2	-59.0	-59.0	-58.4	-56.2	-60.6	28 Δ	173	285	100
3	-56.9	-53.1	-58.0	-57.3	-56.0	-53.1	-59.0	26 X	302	594	150
4	-56.3	-53.7	-57.0	-51.6	-54.1	-51.6	-57.0	21 X	464	824	238
5	-61.1	-58.1	-61.4	-56.1	-58.6	-56.1	-61.4	21 X	184	392	87
6	-59.3	-55.0	-61.5	-58.7	-58.0	-55.0	-61.5	25 X	191	377	84
7	-68.4	-66.0	-68.9	-64.2	-66.5	-64.2	-68.9	21 Δ	27	45	16
8	-85.2	-69.3	-80.2	-77.7	-74.4	-69.3	-85.2	25 Δ	4	14	0
9	-93.6	-70.0	-83.1	-78.1	-75.2	-70.0	-93.6	21 Δ	4	12	0
10	-92.2	-71.2	-80.7	-78.2	-76.0	-71.2	-92.2	17 Δ	3	9	0
11	-92.2	-71.4	-80.7	-78.7	-76.2	-71.4	-92.2	17 Δ	3	9	0
SV-ave.					-59.5	-57.0	-62.3				
Total biomass					1469	2657	770		[m ³ /km ²]		

ST.4 day

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	dsv1	dsv2	dsv3	dsv4	dsv5	dsv6
1	-78.0	-73.3	-69.8	-67.3	-4.7	-8.2	-10.7	-3.5	-6.0	-2.5
2	-67.3	-62.0	-59.7	-61.2	-5.3	-7.6	-6.1	-2.3	-0.8	1.6
3	-70.6	-67.0	-65.3	-66.3	-3.6	-5.3	-2.3	-1.7	1.3	3.0
4	-71.8	-67.0	-64.4	-67.9	-4.8	-7.4	-3.9	-2.6	0.9	3.5
5	-75.1	-71.6	-68.5	-72.8	-3.5	-6.6	-2.3	-3.1	1.2	4.3
6	-77.2	-74.0	-72.6	-73.7	-3.2	-4.7	-3.6	-1.6	-0.4	1.1
7	-77.2	-74.0	-72.6	-73.7	-3.2	-4.7	-3.6	-1.6	-0.4	1.1
8	-81.2	-75.3	-75.0	-79.5	-3.2	-1.5	-1.0	1.7	2.2	0.5
9	-82.8	-73.9	-75.0	-72.9	-8.9	-7.8	-9.9	1.1	-1.0	-2.1
10	-77.8	-74.4	-76.1	-74.8	-3.4	-1.7	-3.0	1.7	0.4	-1.3
11	-75.5	-74.6	-76.1	-74.8	-3.7	-2.2	-3.5	1.6	0.2	-1.2
ave.	-73.7	-69.1	-67.1	-68.6	-4.7	-6.6	-6.1	-2.0	-0.4	1.6

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	ave.	max.	min.	rank	ave.	max.	min.
1	-68.4	-64.3	-66.0	-66.2	-66.0	-64.3	-68.4	31 Δ	30	46	17
2	-58.4	-53.9	-58.8	-61.2	-56.0	-53.9	-58.6	27 Δ	262	490	166
3	-62.1	-59.4	-65.3	-62.3	-61.5	-59.4	-65.3	25 X	79	137	35
4	-63.1	-59.2	-63.9	-63.0	-61.9	-59.2	-63.9	26 Δ	78	146	48
5	-66.6	-64.0	-68.5	-66.8	-66.2	-64.0	-68.5	25 Δ	29	47	17
6	-68.4	-66.0	-71.5	-69.9	-68.5	-66.0	-71.5	27 X	17	30	9
7	-70.0	-68.2	-72.4	-64.5	-67.8	-64.5	-72.4	20 X	20	42	7
8	-74.3	-70.0	-74.2	-66.7	-70.1	-66.7	-74.3	19 X	12	26	4
9	-72.0	-63.4	-67.3	-68.3	-66.7	-63.4	-72.0	40 Δ	25	54	8
10	-64.0	-60.7	-63.1	-62.4	-62.4	-60.7	-64.0	77 Δ	69	101	47
11	-65.0	-61.4	-63.8	-63.3	-63.2	-61.4	-65.0	69 Δ	58	86	38
SV-ave.					-62.9	-60.4	-65.2				
Total biomass					678	1205	396		[m ³ /km ²]		

(e)

ST.5 night

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	dsv1	dsv2	dsv3	dsv4	dsv5	dsv6
1	-63.6	-69.3	-57.0	-58.3	-4.2	-6.5	-5.2	-2.3	-1.0	1.3
2	-63.2	-69.3	-59.0	-58.4	-3.9	-6.2	-4.8	-2.3	-0.9	1.4
3	-69.7	-64.9	-62.7	-65.3	-4.8	-7.0	-4.4	-2.2	0.4	2.6
4	-73.0	-69.0	-67.3	-69.7	-4.0	-6.7	-3.3	-1.7	0.7	2.4
5	-82.9	-77.4	-76.0	-80.0	-5.5	-6.9	-2.9	-1.4	2.6	4.0
6	-91.7	-81.3	-83.0	-86.6	-10.4	-8.7	-6.2	1.7	8.2	3.5
7	-96.1	-81.6	-88.4	-91.1	-14.5	-7.7	-5.0	6.8	9.5	2.7
8	-92.1	-80.4	-89.9	-91.7	-12.7	-3.2	-1.4	9.5	11.3	1.8
9	-81.5	-75.9	-86.6	-90.8	-5.6	7.3	9.3	12.9	14.9	2.0
10	-80.4	-74.3	-87.1	-90.2	-5.5	6.7	9.8	12.2	15.3	3.1
11	-81.0	-75.0	-87.1	-90.5	-6.0	6.1	9.5	12.1	15.5	3.4
ave.	-69.9	-65.7	-63.6	-65.2	-4.2	-6.3	-4.8	-2.1	-0.6	1.5

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	ave.	max.	min.	rank	ave.	max.	min.
1	-54.6	-51.2	-55.9	-54.6	-53.7	-51.2	-55.9	27 Δ	618	912	309
2	-54.3	-51.2	-56.9	-54.6	-53.6	-51.2	-56.9	27 Δ	620	912	309
3	-61.0	-57.1	-62.2	-60.4	-59.7	-57.1	-62.2	26 Δ	128	237	72
4	-64.3	-61.2	-66.8	-64.8	-63.8	-61.2	-66.8	26 X	50	92	25
5	-75.1	-70.8	-75.2	-70.6	-72.4	-70.6	-75.2	22 Δ	7	11	4
6	-83.5	-74.7	-82.2	-77.1	-78.0	-74.7	-83.5	22 Δ	2	4	0
7	-89.2	-76.3	-83.6	-78.3	-79.6	-76.3	-89.2	19 Δ	1	3	0
8	-86.9	-76.3	-82.1	-76.7	-78.8	-76.3	-86.9	17 Δ	2	3	0
9	-70.7	-74.5	-76.5	-72.3	-74.6	-72.3	-76.7	14 Δ	4	7	3
10	-75.6	-73.5	-74.8	-71.7	-73.6	-71.7	-75.6	14 Δ	5	8	3
11	-75.2	-73.6	-74.8	-72.0	-73.9	-72.0	-76.2	14 Δ	5	8	2
SV-ave.					-60.3	-57.8	-62.6				
Total biomass					1239	2196	728	(m ³ /km ²)			

ST.5 day

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	dsv1	dsv2	dsv3	dsv4	dsv5	dsv6
1	-67.8	-62.4	-58.6	-60.8	-5.4	-9.2	-7.0	-3.8	-1.6	3.2
2	-73.9	-70.2	-68.7	-70.8	-3.4	-4.9	-2.8	-1.5	0.6	2.1
3	-77.3	-74.6	-74.6	-77.2	-2.7	-2.7	-0.1	0.0	2.6	2.0
4	-84.5	-79.0	-79.8	-82.8	-5.5	-4.7	-1.7	0.8	3.8	3.0
5	-100.0	-82.8	-89.2	-90.9	-17.2	-10.8	-9.1	6.4	8.1	1.7
6	-104.1	-81.9	-89.3	-91.1	-22.2	-14.8	-13.0	7.4	9.2	1.8
7	-88.9	-79.1	-88.0	-86.6	-9.8	-0.9	-0.3	8.9	9.5	0.6
8	-82.6	-76.6	-85.0	-83.8	-6.8	-0.0	1.5	6.8	8.3	1.5
9	-82.3	-75.5	-82.3	-83.3	-6.8	2.2	4.4	11.0	13.2	2.2
10	-84.5	-75.7	-86.7	-88.9	-8.8	0.4	2.7	10.8	13.1	2.3
11	-86.3	-75.9	-86.7	-89.0	-10.4	0.4	2.7	10.8	13.1	2.3
ave.	-76.4	-71.2	-68.4	-70.6	-5.3	-8.0	-5.8	-2.7	-0.5	2.2

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	ave.	max.	min.	rank	ave.	max.	min.
1	-68.9	-64.3	-67.5	-67.0	-56.6	-54.3	-68.9	27 Δ	263	447	153
2	-64.9	-62.4	-68.2	-65.9	-64.9	-62.4	-68.2	26 X	39	70	18
3	-70.1	-68.8	-71.3	-65.5	-68.4	-65.5	-71.3	20 X	18	34	9
4	-77.0	-72.6	-77.8	-72.2	-74.3	-72.2	-77.8	21 X	4	7	2
5	-92.5	-76.6	-87.2	-80.3	-80.8	-76.6	-92.5	21 X	1	3	0
6	-95.4	-74.1	-88.6	-86.2	-79.7	-74.1	-95.4	20 Δ	1	3	0
7	-82.7	-75.0	-80.2	-73.6	-76.4	-73.6	-82.7	17 Δ	3	6	1
8	-77.4	-72.7	-77.2	-71.3	-73.8	-71.3	-77.4	17 Δ	5	9	2
9	-75.7	-70.8	-76.0	-69.9	-72.2	-69.9	-76.0	18 Δ	7	12	3
10	-78.7	-72.4	-77.4	-72.7	-74.5	-72.4	-78.7	16 Δ	4	7	2
11	-80.5	-72.6	-77.4	-72.8	-74.7	-72.6	-80.5	16 Δ	4	7	1
SV-ave.					-65.8	-63.4	-68.4				
Total biomass					260	606	191	(m ³ /km ²)			

(f)

228

ST.6 night

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	dsv1	dsv2	dsv3	dsv4	dsv5	dsv6
1	-74.6	-72.1	-70.7	-69.4	-2.6	-3.9	-5.2	-1.4	-2.7	-1.3
2	-74.7	-72.2	-68.6	-71.8	-2.5	-0.1	-2.9	-3.6	-0.4	3.2
3	-78.1	-74.6	-69.7	-72.6	-3.6	-8.4	-5.0	-4.9	-2.1	2.8
4	-78.1	-74.2	-69.8	-72.8	-3.9	-8.3	-5.3	-4.4	-1.4	3.0
5	-78.5	-73.6	-68.7	-72.6	-4.9	-9.8	-6.0	-4.9	-1.1	3.8
6	-76.0	-71.8	-65.1	-68.9	-4.2	-10.9	-7.1	-6.7	-2.9	3.8
7	-74.5	-71.1	-66.8	-69.2	-3.4	-7.7	-5.3	-4.2	-1.9	2.4
8	-71.7	-69.2	-66.0	-69.9	-2.5	-5.7	-1.8	-3.0	-0.7	3.9
9	-70.7	-68.3	-66.6	-69.8	-2.4	-5.4	-0.9	-3.0	1.5	4.5
10	-71.9	-68.3	-66.6	-69.0	-2.4	-5.3	-2.9	-2.9	-0.5	2.4
11	-71.6	-69.4	-66.7	-69.1	-2.2	-4.9	-2.8	-2.7	-0.3	2.4
ave.	-73.8	-71.0	-67.3	-70.2	-2.8	-6.6	-3.6	-3.7	-0.8	2.9

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	ave.	max.	min.	rank	ave.	max.	min.
1	-63.1	-60.8	-61.3	-62.0	-61.7	-60.8	-63.1	47 Δ	81	100	59
2	-66.0	-64.4	-68.1	-66.9	-60.1	-64.4	-66.1	26 Δ	29	44	18
3	-69.2	-66.5	-68.6	-68.7	-68.1	-66.5	-69.2	27 Δ	19	27	14
4	-69.4	-66.4	-69.3	-67.9	-68.1	-66.4	-69.4	26 Δ	19	28	14
5	-69.8	-65.8	-68.2	-67.6	-67.6	-65.8	-69.8	26 Δ	21	32	12
6	-67.1	-63.7	-64.0	-65.1	-64.8	-63.7	-67.1	27 Δ	40	51	23
7	-65.6	-63.0	-65.7	-65.4	-64.8	-63.0	-65.7	27 Δ	40	50	32
8	-63.2	-61.6	-66.0	-63.9	-63.4	-61.6	-66.0	25 Δ	55	82	30
9	-62.9	-61.7	-64.5	-60.4	-62.1	-60.4	-64.5	22 Δ	74	110	42
10	-63.2	-61.7	-66.1	-64.1	-63.5	-61.7	-66.1	26 X	54	82	29
11	-62.9	-61.6	-66.2	-64.2	-63.4	-61.6	-66.2	26 X	55	84	29
SV-ave.					-64.4	-62.6	-66.4				
Total biomass					484	701	304		[m ³ /km ²]		

ST.6 day

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	dsv1	dsv2	dsv3	dsv4	dsv5	dsv6
1	-74.5	-69.3	-67.4	-66.8	-6.2	-7.1	-7.7	-1.9	-2.6	-0.6
2	-73.9	-69.2	-67.5	-66.9	-4.7	-6.4	-7.0	-1.7	-2.3	-0.6
3	-83.4	-80.8	-81.8	-84.9	-2.6	-1.6	1.5	1.0	4.1	3.1
4	-82.5	-79.6	-78.3	-81.2	-3.9	-4.3	-1.3	-1.3	1.6	2.9
5	-84.8	-79.5	-77.8	-81.0	-5.2	-7.0	-3.2	-1.7	2.1	3.8
6	-83.6	-77.5	-71.3	-76.6	-6.1	-12.3	-7.0	-6.2	-0.9	5.3
7	-83.9	-77.3	-72.4	-78.2	-6.0	-11.5	-5.7	-4.9	0.9	5.8
8	-77.1	-75.7	-72.2	-72.9	-1.4	-4.9	-4.2	-3.5	-2.6	0.7
9	-78.7	-75.4	-75.3	-74.2	-3.3	-3.4	-4.5	-0.1	-1.2	-1.1
10	-75.6	-73.1	-73.9	-74.5	-2.8	-1.7	-1.1	0.8	1.4	0.6
11	-75.7	-73.1	-74.0	-74.5	-2.6	-1.7	-1.2	0.9	1.4	0.5
ave.	-77.7	-73.8	-72.0	-72.4	-3.9	-5.8	-5.3	-1.8	-1.4	0.5

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	ave.	max.	min.	rank	ave.	max.	min.
1	-65.3	-60.7	-64.9	-64.8	-63.5	-60.7	-65.3	29 Δ	54	102	26
2	-62.8	-58.4	-59.0	-60.9	-60.0	-58.4	-62.8	45 Δ	121	175	63
3	-76.2	-75.0	-78.5	-73.2	-75.3	-73.2	-78.5	20 X	4	6	2
4	-75.0	-73.4	-76.3	-70.6	-73.3	-70.6	-76.3	21 X	6	10	3
5	-76.3	-71.9	-77.8	-75.6	-74.8	-71.9	-77.8	25 Δ	4	8	2
6	-74.9	-69.7	-70.8	-71.7	-71.4	-69.7	-74.9	26 Δ	9	12	4
7	-75.4	-69.3	-72.4	-72.2	-72.0	-69.7	-75.4	26 Δ	8	13	3
8	-68.1	-67.3	-70.4	-70.1	-68.8	-67.3	-70.4	28 X	16	22	11
9	-66.5	-63.4	-64.7	-65.1	-64.8	-63.4	-66.5	54 Δ	40	55	27
10	-68.4	-67.3	-70.6	-62.8	-66.3	-62.8	-70.6	20 X	28	63	11
11	-66.5	-67.3	-70.7	-62.8	-66.3	-62.8	-70.7	20 X	28	63	10
SV-ave.					-66.2	-64.0	-68.9				
Total biomass					317	529	171		[m ³ /km ²]		

(g)

ST.7 night

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	dsv1	dsv2	dsv3	dsv4	dsv5	dsv6
1	-75.5	-72.7	-69.4	-68.1	-2.8	-6.1	-7.4	-3.3	-4.6	-1.3
2	-76.2	-73.2	-69.4	-72.3	-3.0	-6.8	-3.9	-3.8	-0.9	4.5
3	-76.0	-72.6	-67.7	-72.2	-3.4	-8.3	-3.8	-4.9	-0.4	4.5
4	-75.6	-72.0	-66.2	-70.9	-3.6	-9.4	-4.7	-5.8	-1.1	4.7
5	-74.7	-70.6	-65.3	-69.2	-4.1	-9.4	-5.5	-5.3	-1.4	3.6
6	-73.4	-69.2	-64.6	-68.1	-4.2	-8.9	-5.3	-4.7	-1.1	3.9
7	-72.5	-68.2	-63.3	-66.6	-4.3	-9.2	-5.9	-4.9	-1.6	3.3
8	-72.8	-68.4	-63.6	-65.4	-4.4	-9.3	-7.4	-4.9	-3.0	1.9
9	-72.3	-68.9	-64.2	-64.6	-4.4	-9.1	-8.7	-4.7	-4.3	0.4
10	-74.0	-69.1	-64.4	-64.1	-4.9	-9.6	-9.9	-4.7	-5.0	-0.3
11	-73.9	-69.0	-64.5	-64.1	-4.9	-9.4	-9.8	-4.5	-4.9	0.4
ave.	-74.2	-70.0	-65.2	-66.9	-4.2	-9.0	-7.3	-4.8	-3.1	1.6

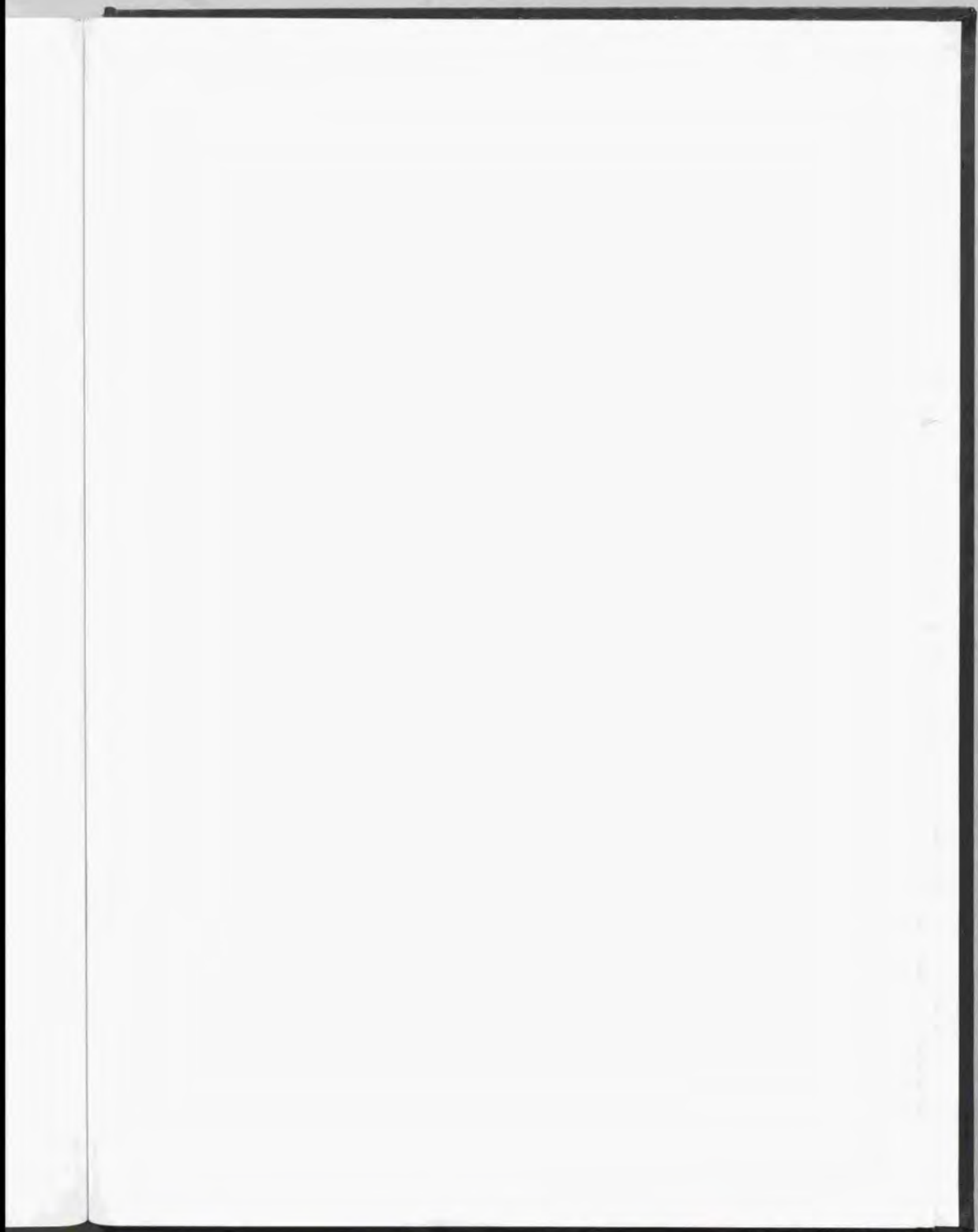
Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	ave.	max.	min.	rank	ave.	max.	min.
1	-66.3	-64.1	-66.9	-66.1	-65.7	-64.1	-66.9	29	32	46	25
2	-67.5	-65.4	-68.9	-67.4	-67.1	-65.4	-68.9	26	23	35	15
3	-67.5	-65.0	-67.7	-66.2	-66.5	-66.0	-67.7	25	27	38	20
4	-66.9	-64.2	-65.7	-65.0	-65.6	-64.2	-66.9	26	33	46	24
5	-66.0	-62.8	-64.8	-64.3	-64.3	-62.8	-66.0	26	44	64	30
6	-64.7	-61.4	-64.0	-63.2	-63.1	-61.4	-64.7	26	58	88	40
7	-63.8	-60.4	-62.8	-61.7	-62.0	-60.4	-63.8	26	76	111	50
8	-63.9	-60.3	-62.4	-61.6	-61.9	-60.3	-63.9	27	78	112	45
9	-64.3	-60.5	-61.9	-61.8	-62.0	-60.5	-64.3	28	75	106	45
10	-64.8	-60.5	-61.9	-62.1	-62.1	-60.5	-64.8	29	75	106	40
11	-64.7	-60.4	-62.0	-62.1	-62.0	-60.4	-64.7	29	75	109	41
SV-ave.					-62.4	-61.9	-65.4				
Total biomass					597	561	378				(m ³ /km ²)

ST.7 day

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	dsv1	dsv2	dsv3	dsv4	dsv5	dsv6
1	-80.2	-75.8	-72.5	-70.2	-4.4	-7.7	-10.0	-3.3	-5.5	-2.3
2	-82.7	-77.7	-77.0	-80.4	-5.0	-5.7	-2.3	-0.7	2.7	3.4
3	-81.1	-76.1	-75.0	-77.2	-5.0	-6.1	-3.4	-1.1	1.6	2.7
4	-80.2	-75.0	-73.1	-75.2	-5.2	-7.1	-5.0	-1.9	0.2	2.1
5	-80.5	-74.5	-72.5	-74.2	-6.0	-8.0	-6.3	-2.0	-0.3	1.7
6	-81.8	-75.0	-73.1	-74.3	-6.8	-8.7	-7.5	-1.9	-0.7	1.2
7	-82.3	-75.6	-74.5	-75.1	-6.7	-7.8	-7.2	-1.1	-0.5	0.6
8	-80.8	-75.2	-76.0	-77.4	-5.6	-4.8	-3.4	0.8	2.2	1.4
9	-79.7	-73.9	-72.1	-79.0	-5.8	-3.6	-0.7	3.2	5.1	1.9
10	-79.1	-72.6	-77.8	-81.8	-6.6	-1.3	2.7	5.2	9.2	4.0
11	-80.2	-72.6	-77.9	-81.8	-7.6	-2.3	1.6	5.3	9.2	3.9
ave.	-80.7	-74.7	-74.7	-75.6	-6.0	-5.0	-5.0	0.0	0.9	0.5

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	ave.	max.	min.	rank	ave.	max.	min.
1	-70.8	-67.0	-69.3	-68.8	-67.0	-70.8	30	Δ	16	24	10
2	-74.9	-71.1	-76.2	-71.0	-72.7	-71.0	-76.2	22	X	6	10
3	-72.4	-68.3	-74.5	-72.8	-71.3	-68.3	-74.5	26	X	9	18
4	-71.3	-66.9	-72.0	-71.4	-69.9	-66.9	-72.0	27	Δ	14	25
5	-71.6	-66.4	-71.4	-70.4	-69.4	-66.4	-71.6	27	Δ	17	28
6	-72.9	-66.9	-72.0	-70.5	-69.9	-66.9	-72.9	27	Δ	12	25
7	-73.3	-67.2	-72.7	-72.3	-70.6	-67.2	-73.3	28	Δ	10	23
8	-72.1	-67.4	-75.5	-72.5	-70.8	-67.4	-75.5	26	X	10	22
9	-72.8	-68.6	-72.2	-66.2	-69.1	-66.2	-72.8	19	X	15	29
10	-72.5	-67.9	-71.5	-67.9	-69.5	-67.9	-72.5	18	Δ	14	20
11	-73.5	-67.9	-71.6	-67.9	-69.6	-67.9	-73.5	18	Δ	13	20
SV-ave.					-70.0	-67.4	-73.0				
Total biomass					131	241	66				(m ³ /km ²)

(h)





ST.8 night

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	dsv1	dsv2	dsv3	dsv4	dsv5	dsv6
1	-77.7	-78.9	-72.8	-69.6	-1.8	-4.9	-8.1	-3.1	-6.3	-3.2
2	-78.6	-76.2	-73.7	-75.9	-2.4	-4.9	-2.7	-2.5	-0.3	2.2
3	-78.2	-76.2	-71.2	-74.1	-3.0	-7.0	-4.1	-4.0	-1.1	2.9
4	-79.2	-76.5	-68.0	-73.7	-4.5	-11.2	-5.9	-7.8	-1.5	6.3
5	-79.2	-74.5	-69.9	-74.3	-3.7	-9.3	-4.9	-5.6	-1.2	4.4
6	-78.8	-74.4	-66.0	-72.9	-4.4	-12.2	-8.5	-7.4	-2.9	4.5
7	-77.6	-74.4	-67.0	-71.5	-3.2	-10.6	-6.1	-7.4	-2.9	4.5
8	-78.8	-72.6	-68.4	-71.1	-2.2	-7.4	-4.7	-5.2	-2.5	2.7
9	-75.8	-72.6	-70.7	-72.8	-1.9	-5.1	-3.0	-3.2	-1.1	3.1
10	-76.0	-74.1	-72.2	-74.0	-1.9	-3.8	-2.0	-1.9	-0.1	1.8
11	-76.2	-74.1	-72.2	-74.0	-2.1	-4.0	-2.2	-1.9	-0.1	1.8
ave.	-77.4	-74.7	-69.6	-72.7	-2.7	-7.7	-4.6	-5.0	-1.9	3.1

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	ave.	max.	min.	rank	ave.	max.	min.
1	-67.4	-68.0	-66.5	-67.0	-66.7	-68.0	-67.4	36	26	30	22
2	-69.9	-68.4	-73.2	-71.0	-70.3	-68.4	-73.2	26 X	11	16	5
3	-69.5	-67.4	-70.7	-69.2	-69.0	-67.4	-70.7	26 Δ	15	32	10
4	-70.5	-67.7	-69.4	-69.4	-69.1	-67.7	-70.5	26 Δ	35	21	11
5	-70.7	-67.1	-68.0	-67.7	-68.2	-67.1	-70.7	25 Δ	16	23	10
6	-70.3	-66.8	-66.6	-66.9	-67.4	-66.6	-70.3	26 Δ	22	26	11
7	-68.9	-66.5	-66.5	-66.6	-67.1	-66.5	-68.9	26 Δ	24	27	15
8	-66.9	-65.5	-67.3	-67.3	-66.7	-65.5	-67.3	27 Θ	26	34	22
9	-66.9	-65.8	-69.6	-69.0	-67.6	-65.8	-69.6	27 X	21	32	12
10	-67.3	-66.3	-71.7	-69.1	-68.2	-66.3	-71.7	26 X	18	28	8
11	-67.5	-66.3	-71.7	-69.1	-68.2	-66.3	-71.7	26 X	18	28	8
SV-ave.					-67.9	-66.6	-69.9				
Total biomass					213	289	136		[m ³ /km ²]		

ST.8 day

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	dsv1	dsv2	dsv3	dsv4	dsv5	dsv6
1	-82.8	-79.8	-77.9	-70.2	-3.0	-4.9	-12.6	-1.9	-6.6	-7.7
2	-88.3	-85.8	-83.2	-84.3	-2.5	-5.1	-4.0	-2.6	-1.5	1.1
3	-91.6	-87.9	-82.7	-84.0	-3.7	-8.9	-7.6	-5.2	-3.9	1.3
4	-98.3	-92.0	-86.8	-86.8	-3.3	-8.7	-8.5	-5.4	-5.2	0.2
5	-92.4	-93.7	-91.1	-90.4	1.3	-1.3	-2.0	-2.6	-3.3	-0.7
6	-86.6	-86.4	-84.8	-85.9	1.8	-1.8	-0.7	-3.6	-2.5	1.1
7	-82.7	-83.0	-78.8	-82.2	0.3	-3.9	-0.5	-4.2	-0.8	3.4
8	-81.0	-79.3	-75.8	-80.6	-1.7	-5.2	-0.4	-3.5	1.3	4.8
9	-81.5	-80.6	-76.4	-80.2	-1.0	-5.1	-1.3	-4.1	-0.3	3.8
10	-82.3	-82.0	-80.8	-83.1	-0.3	-1.5	0.8	-1.2	1.1	2.3
11	-85.7	-82.9	-80.8	-83.2	-2.8	-4.9	-2.5	-2.1	0.3	2.4
ave.	-84.5	-83.1	-79.9	-78.9	-1.4	-4.5	-5.6	-3.1	-4.2	-1.1

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	ave.	max.	min.	rank	ave.	max.	min.
1	-72.9	-70.4	-73.0	-69.0	-71.0	-69.0	-73.0	33 Δ	10	15	0
2	-75.4	-77.7	-82.1	-80.5	-79.6	-77.7	-82.1	27 X	1	2	1
3	-82.6	-79.5	-80.5	-81.2	-80.9	-79.5	-82.6	28 Δ	1	1	1
4	-86.3	-83.6	-84.8	-84.0	-84.6	-83.6	-86.3	28 X	0	1	0
5	-80.1	-81.5	-80.2	-80.8	-80.6	-80.1	-81.5	56 Δ	1	1	1
6	-77.7	-80.3	-83.7	-82.1	-80.4	-77.7	-83.7	27 X	1	2	1
7	-74.2	-75.4	-78.8	-76.2	-75.9	-74.2	-78.8	25 X	3	5	2
8	-73.2	-72.7	-75.0	-71.2	-73.8	-71.2	-75.0	22 Θ	6	9	4
9	-73.0	-72.9	-76.4	-74.2	-73.9	-72.9	-76.4	25 Δ	5	6	3
10	-74.8	-75.8	-78.8	-72.5	-74.9	-72.5	-78.8	21 X	4	7	2
11	-77.0	-75.1	-80.3	-78.3	-77.3	-75.1	-80.3	26 X	2	4	1
SV-ave.					-75.8	-74.0	-78.2				
Total biomass					35	52	20		[m ³ /km ²]		

(i)

23/

ST.9 night

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	36kHz	dsv1	dsv2	dsv3	dsv4	dsv5	dsv6
1	-77.7	-75.7	-72.4	-68.1	-2.0	-5.3	-9.6	-9.3	-7.6	-4.3
2	-79.3	-76.4	-72.9	-75.7	-2.9	-6.4	-3.6	-3.8	-0.7	2.8
3	-80.7	-77.8	-73.2	-76.3	-3.1	-7.8	-4.4	-4.4	-1.3	3.1
4	-81.3	-77.4	-72.3	-76.2	-3.9	-9.0	-5.1	-5.1	-1.2	3.9
5	-79.8	-74.8	-69.4	-73.8	-5.0	-10.4	-6.0	-6.0	-1.0	4.4
6	-75.1	-70.1	-64.9	-68.4	-6.0	-10.2	-6.7	-5.2	-1.7	3.5
7	-74.1	-69.3	-64.8	-66.9	-4.8	-9.3	-7.2	-4.8	-2.4	2.1
8	-76.0	-71.2	-67.4	-69.6	-4.8	-8.6	-6.4	-3.8	-1.6	2.2
9	-76.8	-71.9	-69.3	-71.1	-4.9	-7.5	-5.7	-2.6	-0.8	1.8
10	-77.1	-72.5	-70.0	-71.6	-4.6	-7.1	-5.5	-2.5	-0.9	1.6
11	-77.5	-72.4	-70.0	-71.6	-5.1	-7.5	-5.9	-2.4	-0.8	1.6
ave.	-77.2	-72.7	-68.7	-70.7	-4.5	-6.5	-6.6	-4.0	-2.1	2.0

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	36kHz	ave.	max.	min.	rank	ave.	max.	min.	
1	-67.7	-66.2	-67.0	-66.5	-66.8	-66.2	-67.7	34	Δ	25	29	20
2	-70.6	-68.6	-72.4	-70.8	-70.4	-68.6	-72.4	26	Δ	13	17	7
3	-72.0	-69.6	-72.7	-71.4	-71.3	-69.8	-72.7	26	Δ	9	13	6
4	-72.6	-69.6	-71.3	-71.3	-71.2	-69.6	-72.6	26	Δ	9	13	7
5	-71.1	-67.0	-68.9	-68.9	-68.7	-67.0	-71.1	26	Δ	16	24	9
6	-69.4	-62.3	-64.4	-63.5	-63.9	-62.3	-66.4	26	Δ	49	71	22
7	-65.2	-61.3	-63.7	-63.1	-63.1	-61.2	-65.2	27	Δ	59	91	36
8	-67.1	-63.1	-66.3	-65.8	-65.3	-63.1	-67.1	27	Δ	35	59	23
9	-67.9	-61.5	-68.2	-67.3	-66.4	-63.8	-68.2	27	Δ	27	50	16
10	-68.2	-64.4	-68.9	-67.5	-66.6	-64.4	-68.9	27	Δ	24	44	15
11	-68.5	-64.3	-68.9	-67.8	-67.0	-64.3	-68.9	27	Δ	24	46	15
SV-ave.					-66.6	-64.6	-68.5					
Total biomass					289	456	185		[m ³ /km ²]			

ST.9 day

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	36kHz	dsv1	dsv2	dsv3	dsv4	dsv5	dsv6
1	-80.6	-77.8	-73.8	-74.2	-2.8	-6.8	-6.4	-4.0	-3.6	0.4
2	-80.1	-77.7	-73.9	-74.3	-2.4	-6.2	-5.8	-3.8	-3.4	0.4
3	-86.0	-83.3	-83.3	-81.8	-2.7	-2.7	-4.2	0.0	-1.5	-1.5
4	-88.9	-88.1	-89.2	-89.5	-0.8	0.3	0.6	1.1	1.4	0.3
5	-92.7	-91.4	-93.1	-90.0	-1.3	0.4	-2.7	1.7	-1.4	-3.1
6	-93.7	-91.9	-91.9	-89.7	-1.8	-4.6	-2.0	-2.8	-0.2	3.2
7	-89.7	-86.3	-89.6	-82.8	-3.4	-10.1	-6.9	-6.7	-3.5	3.2
8	-87.1	-81.7	-78.2	-78.3	-5.4	-8.9	-5.8	-3.5	-3.4	0.1
9	-81.4	-79.6	-76.2	-75.9	-1.8	-5.2	-5.5	-3.4	-3.7	-0.3
10	-82.8	-79.8	-77.6	-79.9	-3.0	-5.2	-2.9	-2.2	0.1	2.3
11	-85.3	-80.3	-77.6	-79.9	-6.0	-8.7	-6.4	-2.7	-0.4	2.3
ave.	-84.3	-81.3	-78.0	-78.6	-2.9	-6.3	-5.6	-3.3	-2.7	0.6

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	36kHz	ave.	max.	min.	rank	ave.	max.	min.	
1	-71.6	-69.4	-72.0	-71.4	-71.0	-69.4	-72.0	28	Δ	10	14	8
2	-71.1	-69.3	-72.1	-71.5	-70.9	-69.3	-72.1	28	Δ	10	14	7
3	-73.8	-71.3	-72.7	-72.7	-72.5	-71.3	-73.8	20	X	7	9	5
4	-81.7	-82.3	-85.9	-77.8	-81.0	-77.8	-85.9	20	X	1	2	0
5	-79.5	-78.3	-80.9	-78.6	-79.2	-78.3	-80.9	68	Δ	1	2	1
6	-85.0	-84.1	-86.6	-86.8	-85.8	-84.1	-88.6	26	X	0	0	0
7	-80.5	-78.2	-76.5	-79.0	-79.0	-78.2	-80.8	27	Δ	2	2	1
8	-78.1	-73.3	-75.4	-75.5	-75.5	-73.3	-78.1	28	Δ	3	6	2
9	-70.0	-68.8	-67.7	-69.8	-69.1	-67.7	-70.3	43	Δ	5	8	2
10	-74.1	-72.0	-72.1	-75.0	-74.2	-72.0	-77.1	26	X	5	8	2
11	-77.4	-72.2	-76.5	-76.1	-75.0	-72.2	-77.4	27	Δ	4	7	2
SV-ave.					-73.6	-72.0	-75.2					
Total biomass					57	83	40		[m ³ /km ²]			

(i)

ST.G2 night

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	dav1	dav2	dav3	dav4	dav5	dav6
1	-78.5	-75.6	-72.1	-65.6	-2.9	-6.4	-13.0	-3.5	-10.1	-6.6
2	-78.0	-76.5	-72.2	-65.6	-2.6	-5.8	-12.4	-3.3	-9.9	-6.5
3	-74.8	-71.6	-67.8	-69.6	-3.2	-7.0	-5.2	-3.8	-2.0	-1.8
4	-73.0	-69.7	-66.1	-68.3	-3.3	-6.9	-4.7	-3.6	-1.4	2.2
5	-72.6	-69.3	-66.7	-69.1	-2.9	-5.9	-3.6	-2.6	-0.2	2.4
6	-74.8	-71.1	-69.2	-71.3	-3.4	-5.3	-3.2	-1.9	0.2	2.1
7	-76.0	-72.0	-70.0	-72.9	-4.0	-5.4	-3.1	-1.4	0.9	2.3
8	-76.6	-72.8	-72.4	-74.5	-3.8	-4.2	-2.1	-0.4	1.7	2.1
9	-79.5	-76.4	-75.3	-76.1	-4.1	-4.2	-3.4	-0.1	0.7	0.8
10	-78.0	-74.1	-73.5	-74.5	-3.9	-4.5	-3.5	-0.6	0.4	1.0
11	-78.6	-74.1	-73.5	-74.5	-4.5	-5.1	-4.1	-0.6	0.4	1.0
ave.	-75.8	-72.3	-69.9	-69.6	-3.5	-5.9	-6.1	-2.4	-2.6	-0.2

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	ave.	max.	min.	rank	ave.	max.	min.
1	-68.6	-66.2	-67.2	-64.3	-66.3	-64.3	-68.6	33 Δ	28	45	18
2	-68.1	-66.1	-67.3	-64.4	-66.3	-64.4	-68.1	33 Δ	28	44	18
3	-65.9	-63.5	-66.7	-65.8	-65.3	-63.5	-66.7	27 Δ	35	54	26
4	-64.1	-61.6	-65.0	-64.5	-63.6	-61.6	-65.0	27 Δ	53	83	38
5	-63.9	-61.5	-66.7	-64.2	-63.6	-61.5	-66.7	26 Δ	52	86	29
6	-65.8	-63.3	-66.7	-65.4	-65.0	-63.3	-66.7	36 X	33	57	16
7	-67.3	-64.2	-70.1	-68.0	-66.9	-64.2	-70.1	26 X	25	46	19
8	-69.1	-66.6	-70.4	-63.9	-66.8	-63.9	-70.4	21 X	25	48	11
9	-70.6	-67.3	-74.2	-72.3	-70.3	-67.3	-74.2	27 X	11	22	5
10	-69.1	-66.0	-72.4	-70.7	-68.9	-66.0	-72.4	27 X	15	30	7
11	-69.7	-66.0	-72.4	-70.7	-69.0	-66.0	-72.4	27 X	15	30	7
SV-ave.					-66.1	-63.8	-68.6				
Total biomass					321	545	184		[m ³ /km ²]		

ST.G2 day

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	dav1	dav2	dav3	dav4	dav5	dav6
1	-82.8	-79.4	-75.8	-65.9	-3.4	-7.0	-16.9	-3.6	-13.5	-9.9
2	-85.4	-81.3	-77.0	-77.3	-4.1	-8.4	-8.1	-4.3	-4.0	0.3
3	-87.5	-82.6	-77.8	-78.0	-4.9	-9.7	-9.5	-4.8	-4.6	0.2
4	-89.5	-84.5	-79.5	-80.2	-5.0	-10.0	-9.3	-5.0	-4.3	0.7
5	-89.2	-83.8	-79.5	-79.8	-5.4	-9.7	-9.7	-4.3	-4.3	0.0
6	-89.2	-83.0	-79.7	-79.9	-6.2	-9.5	-9.3	-3.3	-3.1	0.2
7	-88.3	-82.6	-78.9	-80.4	-5.7	-9.4	-7.9	-3.7	-2.2	1.6
8	-85.3	-80.3	-75.4	-77.5	-5.0	-9.9	-7.8	-4.9	-2.8	2.1
9	-83.5	-77.8	-73.6	-76.2	-5.7	-9.9	-7.3	-4.2	-1.5	2.6
10	-85.2	-81.0	-78.3	-80.8	-4.2	-8.9	-4.4	-2.7	-0.2	2.3
11	-91.8	-81.7	-78.3	-80.8	-10.1	-13.5	-11.0	-2.4	-0.9	2.5
ave.	-86.3	-81.2	-77.2	-74.5	-5.1	-9.1	-11.8	-4.0	-6.7	-2.7

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	ave.	max.	min.	rank	ave.	max.	min.
1	-72.9	-70.0	-70.9	-64.7	-68.5	-64.7	-72.9	33 Δ	17	41	6
2	-76.4	-72.9	-75.2	-74.5	-74.6	-72.9	-76.4	28 Δ	4	6	3
3	-78.5	-74.2	-76.0	-75.2	-75.7	-74.2	-78.5	28 X	3	5	2
4	-80.5	-77.1	-77.7	-77.4	-77.7	-76.1	-80.5	28 Δ	2	3	1
5	-80.0	-75.2	-77.0	-77.5	-77.1	-75.2	-80.0	29 Δ	2	4	1
6	-80.2	-74.6	-77.9	-77.1	-77.0	-74.6	-80.2	28 Δ	2	4	1
7	-79.3	-74.2	-77.1	-77.6	-76.7	-74.2	-79.3	28 Δ	3	5	1
8	-76.4	-72.2	-74.3	-73.7	-73.9	-72.2	-76.4	27 Δ	5	7	3
9	-74.6	-69.7	-72.5	-72.4	-71.9	-69.7	-74.6	27 Δ	8	13	4
10	-76.5	-73.2	-77.8	-75.9	-75.3	-73.2	-77.8	26 Δ	3	6	2
11	-82.9	-73.6	-77.2	-77.0	-76.6	-73.6	-82.9	27 Δ	3	5	1
SV-ave.					-74.0	-71.3	-77.2				
Total biomass					57	96	25		[m ³ /km ²]		

(k)

ST.13 night

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	dav1	dav2	dav3	dav4	dav5	dav6
1	-69.5	-63.9	-67.5	-66.0	-5.6	-2.0	-2.9	3.6	2.7	-0.9
2	-69.3	-63.8	-67.5	-66.0	-5.5	-1.8	-2.7	3.7	2.8	-0.9
3	-76.7	-72.5	-70.4	-69.5	-4.2	-6.0	-7.7	-2.1	-3.0	-0.9
4	-74.8	-70.3	-66.0	-66.7	-4.5	-8.8	-8.1	-4.3	-3.6	0.7
5	-78.4	-73.4	-71.0	-70.7	-5.0	-7.4	-7.7	-2.4	-2.7	-0.3
6	-80.4	-76.2	-76.7	-74.9	-4.2	-3.7	-5.5	0.5	-1.3	-1.8
7	-80.1	-75.7	-77.4	-75.2	-4.4	-2.7	-4.9	1.7	-0.5	-2.2
8	-82.2	-77.3	-79.5	-77.1	-4.9	-2.7	-5.1	2.2	-0.2	-2.4
9	-84.8	-79.2	-81.8	-78.0	-5.6	-3.0	-6.8	2.6	-1.2	-3.8
10	-86.2	-80.0	-81.9	-78.2	-6.2	-4.3	-8.0	1.9	-1.6	-3.7
11	-89.6	-80.4	-81.9	-78.2	-9.2	-7.7	-11.4	1.5	-2.2	-3.7
ave.	-75.2	-69.9	-71.1	-70.5	-5.3	-4.1	-4.7	1.2	0.6	-0.6

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	ave.	max.	min.	rank	ave.	max.	min.	
1	-54.6	-49.0	-53.0	-52.5	-51.8	-49.0	-54.6	100	Δ	798	1497	417
2	-54.4	-48.9	-52.0	-52.5	-51.7	-48.9	-54.4	100	Δ	811	1532	437
3	-63.8	-61.9	-62.5	-64.4	-63.4	-61.9	-65.8	41	Δ	56	77	32
4	-65.8	-61.9	-64.2	-63.9	-63.7	-61.9	-65.8	29	X	51	77	32
5	-69.2	-64.8	-68.5	-68.7	-67.4	-64.8	-69.2	29	X	22	40	14
6	-68.5	-64.6	-66.8	-66.7	-66.4	-64.6	-68.6	50	Δ	27	42	17
7	-67.7	-63.4	-66.4	-66.5	-65.5	-63.4	-67.7	57	Δ	34	54	20
8	-69.8	-65.0	-68.5	-67.4	-67.3	-65.0	-69.8	57	Δ	22	38	13
9	-73.2	-67.8	-72.2	-70.3	-70.4	-67.8	-73.2	48	Δ	11	20	6
10	-75.0	-69.0	-73.2	-71.9	-71.7	-69.0	-75.0	44	Δ	8	15	4
11	-79.2	-70.4	-75.2	-75.1	-73.9	-70.4	-79.2	37	Δ	5	11	1
SV-ave.					-58.5	-55.9	-61.2					
Total biomass					1844	3403	993			[m ³ /km ²]		

(1)

ST.14 night

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	dev1	dev2	dev3	dev4	dev5	dev6
1	-78.9	-72.8	-73.1	-67.1	-3.1	-5.8	-11.8	-2.7	-8.7	-6.0
2	-78.7	-75.6	-79.1	-67.0	-3.1	-5.6	-11.7	-2.5	-8.6	-6.1
3	-82.5	-79.6	-81.4	-83.1	-2.9	-1.1	0.6	1.8	3.6	1.7
4	-81.6	-78.5	-82.1	-83.5	-3.1	0.5	1.9	3.6	5.0	1.4
5	-80.2	-76.7	-78.2	-80.0	-3.5	-2.0	-0.2	1.6	3.3	1.8
6	-80.5	-76.4	-78.2	-78.3	-5.1	-5.3	-2.2	-0.2	2.0	3.1
7	-79.1	-74.2	-71.6	-74.4	-4.9	-7.5	-4.7	-2.6	0.2	2.8
8	-78.4	-72.9	-70.4	-71.7	-5.5	-8.0	-4.7	-2.5	0.8	3.3
9	-77.4	-72.2	-68.4	-72.1	-5.2	-9.0	-5.3	-3.8	-0.1	3.7
10	-78.6	-72.9	-69.6	-70.2	-5.7	-9.1	-8.4	-3.4	-2.7	0.7
11	-79.0	-72.9	-69.6	-70.2	-6.1	-9.5	-8.8	-3.4	-2.7	0.7
ave.	-79.3	-74.6	-72.1	-71.6	-4.7	-7.3	-7.7	-2.6	-3.0	-0.4

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	ave.	max.	min.	rank	ave.	max.	min.
1	-69.0	-66.4	-68.2	-65.9	-67.2	-65.9	-69.0	33 Δ	23	31	15
2	-68.8	-66.2	-68.2	-65.8	-67.1	-65.8	-68.8	33 Δ	24	32	10
3	-75.6	-74.3	-76.6	-70.3	-73.5	-70.3	-76.6	19 X	5	11	3
4	-74.7	-73.2	-77.3	-70.7	-73.3	-70.7	-77.3	19 X	6	10	2
5	-73.0	-70.0	-74.5	-68.3	-71.1	-68.3	-74.5	20 X	9	18	4
6	-73.0	-69.2	-73.2	-67.7	-70.2	-67.7	-73.2	21 X	12	20	6
7	-70.4	-66.4	-71.1	-69.6	-68.9	-66.4	-71.1	26 Δ	15	28	9
8	-69.7	-65.1	-69.9	-68.8	-67.9	-65.1	-69.9	26 Δ	20	37	12
9	-68.7	-64.4	-67.9	-67.2	-66.7	-64.4	-68.7	26 Δ	26	44	16
10	-69.6	-64.5	-67.7	-67.4	-66.9	-64.5	-69.6	28 Δ	24	42	13
11	-70.0	-64.5	-67.7	-67.4	-67.0	-64.5	-70.0	28 Δ	24	42	12
SV-ave.					-68.5	-66.2	-70.9				
Total biomass					187	315	108	(m ³ /km ²)			

ST.14 day

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	dev1	dev2	dev3	dev4	dev5	dev6
1	-84.3	-80.6	-78.9	-67.3	-3.7	-6.4	-17.0	-1.7	-13.3	-11.6
2	-87.7	-83.4	-81.1	-80.4	-4.3	-6.6	-7.3	-2.3	-3.0	-0.7
3	-88.5	-83.0	-80.2	-80.1	-6.5	-8.3	-8.4	-2.8	-2.9	-0.1
4	-88.1	-82.2	-78.6	-80.0	-5.9	-9.5	-8.1	-3.6	-2.2	1.4
5	-87.1	-80.9	-76.9	-78.6	-9.2	-10.2	-8.6	-4.0	-2.9	1.7
6	-84.7	-79.7	-76.1	-76.8	-5.0	-8.5	-7.9	-3.5	-2.9	0.6
7	-86.6	-79.5	-76.0	-76.3	-7.1	-9.7	-10.3	-2.6	-3.2	-0.5
8	-85.3	-78.4	-76.7	-75.2	-6.8	-8.6	-10.1	-1.7	-3.2	-1.5
9	-84.6	-77.8	-77.0	-74.8	-6.7	-7.5	-9.7	-0.8	-3.0	-2.2
10	-83.8	-77.8	-77.5	-75.0	-6.0	-6.3	-8.6	-0.3	-2.8	-2.8
11	-85.6	-78.0	-77.5	-75.0	-7.5	-8.1	-10.6	-0.5	-3.0	-2.5
ave.	-85.7	-79.7	-77.7	-74.4	-6.0	-8.0	-11.3	-2.0	-3.3	-3.3

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	ave.	max.	min.	rank	ave.	max.	min.
1	-74.4	-71.2	-74.0	-66.1	-70.0	-65.1	-74.4	33 Δ	12	29	4
2	-78.5	-74.8	-78.6	-78.4	-77.2	-74.8	-78.6	29 Δ	2	4	2
3	-79.3	-74.4	-77.7	-78.1	-77.0	-74.4	-79.3	29 X	7	8	1
4	-79.1	-73.6	-76.8	-77.2	-76.3	-73.8	-79.1	28 Δ	2	6	1
5	-78.2	-72.8	-76.8	-74.8	-75.0	-72.8	-78.2	27 Δ	4	6	2
6	-75.7	-71.3	-74.4	-74.0	-73.5	-71.3	-75.7	28 Δ	5	9	3
7	-77.4	-70.9	-74.4	-74.3	-73.0	-70.9	-77.4	29 Δ	5	10	2
8	-76.1	-69.8	-74.2	-73.2	-72.7	-69.8	-76.1	29 Δ	6	13	3
9	-74.0	-67.6	-70.0	-71.2	-70.1	-67.6	-74.0	38 Δ	12	21	6
10	-73.0	-67.3	-69.8	-70.4	-69.7	-67.3	-73.0	40 Δ	12	22	6
11	-76.2	-69.2	-74.3	-73.6	-72.5	-69.2	-76.2	30 Δ	7	14	3
SV-ave.					-72.7	-69.8	-76.0				
Total biomass					71	137	33	(m ³ /km ²)			

(m)

ST.15 night

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	dsv1	dsv2	dsv3	dsv4	dsv5	dsv6
1	-83.0	-79.5	-79.4	-67.6	-4.1	-4.2	-16.0	-0.1	-11.9	-11.8
2	-84.1	-80.1	-80.1	-80.6	-4.0	-4.0	-3.5	0.0	0.6	0.5
3	-84.2	-79.4	-78.0	-78.9	-4.8	-6.2	-6.3	-1.4	-0.6	0.9
4	-85.3	-80.4	-78.0	-80.0	-4.9	-7.7	-4.8	-2.4	0.1	2.5
5	-85.6	-79.9	-77.1	-81.2	-5.7	-8.6	-4.4	-2.8	1.3	4.1
6	-85.1	-78.7	-76.5	-80.6	-6.4	-9.8	-4.4	-3.1	1.9	5.0
7	-84.1	-77.2	-73.3	-78.8	-6.9	-10.8	-5.3	-3.0	1.6	4.2
8	-82.1	-75.3	-71.1	-75.3	-6.8	-11.0	-6.8	-4.2	0.0	4.0
9	-80.9	-74.5	-70.0	-72.3	-6.4	-10.9	-8.6	-4.0	-2.2	2.3
10	-80.6	-74.5	-70.0	-70.4	-6.1	-10.8	-10.2	-4.6	-4.1	0.4
11	-81.5	-74.6	-70.0	-70.4	-6.9	-11.5	-11.1	-4.6	-4.2	0.4
ave.	-83.0	-77.0	-73.2	-73.4	-6.0	-9.8	-9.6	-3.8	-3.6	0.2

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	ave.	max.	min.	rank	ave.	max.	min.
1	-73.6	-70.0	-74.0	-66.0	-69.7	-66.0	-74.0	34 Δ	13	30	5
2	-75.2	-72.0	-79.0	-76.8	-75.0	-72.0	-79.0	27 X	4	8	2
3	-76.3	-71.3	-76.9	-75.1	-74.1	-71.3	-76.9	27 X	5	9	2
4	-76.6	-72.6	-77.5	-75.6	-75.1	-72.6	-77.5	26 Δ	4	7	2
5	-77.1	-72.3	-77.1	-75.2	-75.0	-72.3	-77.1	25 Δ	4	7	2
6	-76.6	-71.1	-75.6	-74.6	-74.0	-71.1	-76.6	25 Δ	5	9	3
7	-75.6	-69.6	-73.3	-72.8	-72.3	-69.6	-75.6	25 Δ	7	13	3
8	-73.4	-67.5	-70.6	-68.5	-68.5	-66.4	-72.0	27 Δ	12	22	6
9	-72.0	-66.4	-68.9	-67.5	-68.0	-66.1	-71.6	28 Δ	17	26	7
10	-71.6	-66.1	-68.2	-67.5	-68.0	-66.1	-71.6	28 Δ	19	29	8
11	-72.5	-66.2	-68.2	-67.6	-68.1	-66.2	-72.5	28 X	19	28	7
SV-ave.					-70.9	-68.4	-74.5				
Total biomass					108	189	47	(m ³ /km ²)			

ST.15 day

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	dsv1	dsv2	dsv3	dsv4	dsv5	dsv6
1	-78.8	-74.2	-73.4	-66.3	-4.6	-5.4	-12.5	-0.8	-7.9	-7.1
2	-80.2	-81.6	-79.1	-74.0	-4.0	-7.1	-12.2	-2.5	-7.0	-6.1
3	-88.6	-83.4	-81.1	-70.5	-5.1	-7.4	-18.0	-2.0	-12.9	-10.6
4	-89.7	-84.4	-82.9	-77.3	-5.3	-6.8	-12.4	-1.5	-7.1	-6.6
5	-91.0	-85.5	-85.1	-78.8	-5.5	-5.9	-12.2	-0.4	-6.7	-6.3
6	-92.5	-86.8	-86.9	-84.0	-5.7	-5.0	-7.9	0.1	-2.2	-2.3
7	-94.2	-88.4	-89.1	-78.8	-5.8	-5.1	-15.4	0.7	-9.6	-10.3
8	-95.0	-89.2	-91.0	-87.3	-5.8	-4.0	-7.7	1.8	-1.9	-3.7
9	-95.1	-90.3	-93.4	-91.1	-4.8	-1.7	-4.0	3.1	0.8	-2.3
10	-94.3	-90.8	-95.6	-92.7	-3.8	1.3	-1.6	5.1	2.2	-3.9
11	-98.4	-93.9	-95.6	-93.1	-4.5	-2.8	-5.3	1.7	-0.8	-2.5
ave.	-87.2	-82.4	-81.4	-74.2	-4.8	-5.5	-13.0	-1.0	-8.2	-7.2

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	ave.	max.	min.	rank	ave.	max.	min.
1	-68.8	-64.7	-68.0	-64.7	-66.2	-64.7	-68.8	34 Δ	29	41	16
2	-76.3	-72.2	-74.2	-72.7	-73.6	-72.2	-76.3	33 Δ	5	7	3
3	-78.6	-74.0	-76.2	-69.3	-73.1	-69.3	-78.6	33 Δ	6	14	2
4	-79.8	-75.0	-78.0	-76.1	-76.9	-75.0	-79.8	33 Δ	2	4	1
5	-81.0	-76.0	-79.7	-77.2	-78.0	-76.0	-81.0	34 Δ	2	3	1
6	-81.5	-76.1	-78.7	-79.1	-78.4	-76.1	-81.5	42 Δ	2	3	1
7	-84.2	-78.9	-83.7	-77.2	-80.0	-77.2	-84.2	34 Δ	1	2	0
8	-83.8	-78.2	-82.3	-81.0	-80.8	-78.2	-83.8	44 Δ	1	2	0
9	-81.3	-76.6	-80.4	-78.7	-78.9	-76.6	-81.3	77 Δ	2	3	1
10	-79.4	-75.6	-81.1	-78.6	-78.2	-75.6	-81.1	100 Δ	2	3	1
11	-85.2	-81.9	-85.0	-84.0	-84.0	-81.9	-86.2	54 Δ	0	1	0
SV-ave.					-74.0	-72.0	-77.0				
Total biomass					52	83	26	(m ³ /km ²)			

(n)

ST.16 night

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	dev1	dev2	dev3	dev4	dev5	dev6
1	-72.8	-73.1	-73.7	-69.5	0.3	0.3	-2.3	0.0	-3.0	-4.2
2	-72.3	-68.6	-63.6	-60.8	-3.7	-8.8	-6.5	-5.1	-1.8	3.3
3	-70.8	-66.6	-62.6	-66.6	-4.0	-7.9	-3.9	-3.9	0.1	4.0
4	-73.0	-69.3	-68.8	-70.8	-3.7	-4.2	-2.2	-0.5	1.6	2.0
5	-73.0	-67.4	-65.8	-68.6	-5.0	-7.2	-4.4	-1.0	1.2	2.6
6	-73.8	-68.1	-67.0	-71.2	-5.7	-0.8	-2.0	-1.1	3.1	4.2
ave.	-72.4	-68.4	-65.7	-68.6	-4.0	-6.8	-3.9	-2.8	0.1	2.9

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	ave.	max.	min.	rank	ave.	max.	min.
1	-60.7	-61.2	-63.3	-60.0	-61.3	-60.6	-63.9	53 Δ	89	105	58
2	-63.6	-60.8	-63.0	-61.9	-62.2	-60.8	-63.6	26 Δ	72	101	52
3	-61.8	-58.7	-62.1	-61.7	-60.8	-58.7	-62.1	26 Δ	93	154	73
4	-64.3	-61.5	-68.3	-65.9	-64.3	-61.5	-68.3	26 X	45	86	18
5	-64.3	-59.6	-65.3	-63.7	-62.6	-59.6	-65.3	26 Δ	56	133	35
6	-68.0	-61.5	-66.2	-61.8	-63.9	-61.5	-66.2	22 Δ	56	85	29
SV-ave.					-64.9	-62.9	-67.0				
Total biomass					426	674	263	[m ³ /km ²]			

ST.16 day

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	dev1	dev2	dev3	dev4	dev5	dev6
1	-67.3	-68.5	-67.3	-68.5	1.2	0.0	1.2	-1.2	0.0	1.2
2	-73.1	-70.9	-68.0	-70.5	-2.2	-5.1	-2.6	-2.9	-0.4	2.5
3	-74.8	-71.2	-68.9	-68.3	-3.6	-8.9	-6.5	-6.3	-2.9	2.4
4	-75.4	-70.9	-69.5	-73.9	-4.5	-5.9	-1.5	-1.4	3.0	4.4
5	-75.0	-70.9	-70.5	-73.4	-4.1	-4.5	-1.6	-0.4	2.5	2.9
6	-76.6	-71.6	-68.7	-71.2	-5.0	-7.8	-5.4	-2.9	-0.4	2.6
ave.	-72.3	-70.5	-68.1	-70.5	-1.8	-4.3	-1.9	-2.5	-0.1	2.4

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	ave.	max.	min.	rank	ave.	max.	min.
1	-60.1	-62.7	-64.0	-56.8	-60.0	-58.8	-64.0	20 X	120	250	48
2	-64.4	-63.1	-67.5	-65.6	-64.9	-63.1	-67.5	26 X	39	59	21
3	-65.9	-63.1	-64.8	-64.5	-64.5	-63.1	-65.9	27 Δ	43	69	31
4	-67.9	-64.7	-67.5	-63.3	-65.4	-63.3	-67.9	21 Δ	34	86	19
5	-67.5	-64.7	-68.5	-62.8	-65.3	-62.8	-68.5	21 X	35	62	17
6	-67.7	-63.5	-67.6	-67.4	-66.1	-63.5	-67.7	27 Δ	29	54	20
SV-ave.					-66.4	-63.9	-69.3				
Total biomass					901	540	156	[m ³ /km ²]			

(o)

ST.18 night

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	dav1	dav2	dav3	dav4	dav5	dav6
1	-77.4	-67.6	-73.6	-63.6	-9.9	-9.9	-13.8	6.0	-3.9	-9.9
2	-74.9	-67.7	-69.7	-72.3	-7.2	-6.2	-2.6	2.0	4.6	3.6
3	-73.9	-68.8	-67.8	-71.8	-5.1	-6.1	-2.1	-1.0	3.0	4.0
4	-72.7	-69.3	-66.3	-69.3	-3.4	-6.4	-3.4	-3.0	0.0	3.0
5	-70.7	-67.8	-64.3	-66.7	-2.9	-6.4	-4.0	-3.5	-1.7	2.4
6	-68.8	-65.8	-62.8	-63.5	-3.0	-6.0	-5.3	-3.0	-1.7	0.4
7	-69.2	-66.1	-63.8	-64.2	-3.1	-5.4	-5.0	-2.3	-1.9	0.8
8	-68.8	-65.1	-63.4	-64.2	-2.7	-5.4	-4.6	-2.7	-1.9	0.8
9	-65.6	-63.1	-60.1	-61.0	-2.3	-3.5	-4.0	-3.0	-2.1	0.9
10	-67.3	-64.1	-61.1	-61.6	-3.3	-6.3	-5.7	-3.0	-2.6	0.5
11	-67.0	-64.0	-61.1	-61.7	-3.0	-5.9	-5.3	-2.9	-2.3	0.6
ave.	-69.4	-66.0	-63.6	-64.1	-3.4	-5.8	-5.2	-2.4	-1.8	0.6

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	ave.	max.	min.	rank	ave.	max.	min.
1	-67.1	-57.6	-67.2	-61.0	-61.4	-57.6	-67.2	36 Δ	87	707	23
2	-67.7	-61.9	-66.4	-60.6	-63.2	-60.6	-67.7	20 X	57	104	20
3	-65.1	-62.2	-67.0	-62.4	-63.9	-62.2	-67.0	22 Δ	49	72	24
4	-64.0	-61.5	-65.8	-64.4	-63.6	-61.5	-65.8	26 Δ	52	86	31
5	-61.8	-59.7	-63.2	-62.9	-61.7	-59.7	-63.2	27 Δ	82	129	58
6	-59.8	-57.4	-61.0	-60.7	-59.5	-57.4	-61.0	28 Δ	135	216	96
7	-60.2	-57.7	-62.0	-61.4	-60.0	-57.7	-62.0	28 X	130	201	76
8	-59.9	-58.0	-62.3	-60.4	-59.9	-58.0	-62.3	27 X	123	191	71
9	-56.7	-55.0	-59.0	-57.2	-56.7	-55.0	-59.0	27 X	254	380	151
10	-58.3	-55.7	-59.2	-58.8	-57.8	-55.7	-59.3	28 Δ	200	319	142
11	-58.0	-55.6	-59.3	-58.9	-57.7	-55.6	-59.3	28 Δ	204	327	142
3V-ave.					-59.9	-57.7	-62.0				
Total biomass					1363	2232	833	(m ³ /km ²)			

(p)

ST.19 night

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	dsv1	dsv2	dsv3	dsv4	dsv5	dsv6
1	-67.1	-63.1	-60.7	-63.6	-4.0	-6.4	-3.6	-2.4	0.5	2.9
2	-66.6	-63.1	-60.8	-63.7	-3.6	-6.8	-2.9	-2.3	0.6	2.9
3	-68.7	-66.8	-62.2	-63.7	-1.9	-6.6	-5.0	-4.0	-3.1	1.0
4	-67.2	-65.8	-61.1	-62.1	-1.4	-7.4	-5.5	-5.4	-3.1	2.3
5	-65.2	-63.2	-61.8	-62.9	-2.0	-7.6	-6.3	-5.4	-3.1	2.3
6	-63.7	-61.6	-66.1	-68.4	-3.2	-7.6	-6.3	-5.4	-3.1	2.3
7	-61.8	-59.9	-55.6	-57.1	-1.9	-6.2	-4.7	-4.3	-2.8	1.5
8	-61.7	-60.1	-67.6	-66.2	-1.6	-4.2	-5.5	-2.6	-3.9	-1.3
9	-62.6	-61.3	-57.7	-55.1	-1.3	-4.9	-7.8	-3.6	-6.2	-2.6
10	-62.3	-61.4	-58.5	-54.4	0.9	-3.8	-7.9	-3.9	-7.0	-4.1
11	-62.0	-61.3	-58.5	-54.4	0.7	-3.5	-7.6	-2.8	-6.9	-4.1
ave.	-63.8	-62.1	-58.3	-57.6	-1.8	-5.5	-6.2	-3.7	-4.5	-0.7

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	ave.	max.	min.	rank	ave.	max.	min.
1	-58.4	-55.3	-60.2	-58.7	-57.6	-55.3	-60.2	25 Δ	201	358	114
2	-57.9	-55.3	-60.3	-58.8	-57.7	-55.3	-60.3	26 Δ	205	358	111
3	-59.6	-58.7	-61.1	-60.9	-59.8	-58.7	-61.1	27 Δ	126	162	99
4	-58.2	-57.4	-59.3	-59.3	-58.5	-57.4	-59.3	28 Δ	171	216	142
5	-59.2	-58.1	-56.7	-54.6	-54.4	-53.4	-54.6	27 Δ	304	371	257
6	-54.8	-52.4	-55.0	-55.9	-56.0	-55.1	-56.7	27 Δ	435	549	380
7	-52.9	-51.8	-54.5	-53.3	-53.0	-51.8	-54.6	27 Δ	598	794	427
8	-50.6	-49.3	-49.0	-50.2	-49.7	-49.0	-50.6	43 Δ	1277	1501	1050
9	-52.2	-51.3	-51.0	-52.0	-51.6	-51.0	-52.2	37 Δ	890	944	725
10	-52.0	-51.5	-52.2	-51.8	-51.9	-51.5	-52.2	36 Δ	775	845	719
11	-51.6	-51.3	-51.8	-51.3	-51.5	-51.3	-51.8	37 Δ	850	895	785
SV-ave.					-53.6	-52.8	-54.4				
Total biomass					5772	6995	4803				[m ³ /km ²]

ST.19 day

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	dsv1	dsv2	dsv3	dsv4	dsv5	dsv6
1	-70.6	-64.6	-63.9	-65.2	-0.0	-6.7	-5.4	-0.7	0.6	1.3
2	-70.1	-64.6	-64.0	-65.3	-5.5	-6.1	-4.8	-0.6	0.7	1.3
3	-70.4	-72.8	-67.1	-68.1	-3.6	-9.3	-8.3	-5.7	-4.7	1.0
4	-77.7	-73.9	-68.1	-67.4	-3.8	-12.6	-10.3	-8.8	-6.6	2.3
5	-73.9	-71.8	-64.0	-67.7	-2.1	-9.9	-6.2	-7.8	-4.1	3.7
6	-72.3	-69.3	-67.4	-71.5	-3.0	-4.9	-0.8	-1.9	2.2	4.1
7	-74.1	-70.1	-65.0	-72.6	-4.0	-9.1	-1.5	-5.1	2.5	7.0
8	-75.8	-71.5	-64.5	-67.4	-4.3	-11.3	-8.4	-7.0	-4.1	2.9
9	-78.6	-74.3	-68.2	-69.6	-4.3	-10.4	-9.0	-6.1	-4.7	1.4
10	-80.7	-76.7	-69.8	-72.3	-4.0	-10.9	-8.5	-6.9	-4.5	2.4
11	-82.3	-76.9	-69.8	-72.3	-6.4	-12.5	-10.0	-7.1	-4.6	2.5
ave.	-74.2	-69.5	-65.8	-65.3	-4.6	-8.4	-6.9	-3.8	-1.3	2.5

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	ave.	max.	min.	rank	ave.	max.	min.
1	-61.7	-56.5	-62.8	-61.4	-59.8	-56.5	-62.8	27 X	126	269	63
2	-61.2	-56.5	-62.9	-61.5	-59.8	-56.5	-62.9	27 X	126	269	63
3	-67.4	-64.4	-65.3	-66.3	-65.6	-64.4	-67.4	28 Δ	34	43	22
4	-68.7	-65.5	-63.3	-64.6	-68.1	-63.3	-68.7	28 Δ	37	56	16
5	-65.0	-63.7	-62.9	-63.0	-63.8	-62.9	-65.0	27 Δ	50	62	38
6	-64.8	-63.1	-65.4	-60.9	-63.2	-60.9	-65.4	21 Δ	57	97	34
7	-66.1	-63.2	-64.9	-64.3	-64.6	-63.2	-66.1	23 Δ	43	56	29
8	-66.9	-63.4	-63.4	-63.6	-64.1	-63.4	-66.9	27 Δ	47	56	24
9	-69.6	-68.9	-66.4	-65.8	-67.0	-65.9	-69.6	28 Δ	24	30	12
10	-71.8	-68.6	-68.7	-68.4	-69.2	-68.4	-71.8	27 Δ	15	17	8
11	-73.3	-68.5	-68.0	-69.5	-69.4	-68.0	-73.3	28 Δ	14	19	6
SV-ave.					-63.6	-61.3	-66.2				
Total biomass					572	976	316				[m ³ /km ²]

(q)

ST.20 night

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	dsv1	dsv2	dsv3	dsv4	dsv5	dsv6
1	-68.9	-61.7	-61.1	-62.1	-7.2	-7.8	-6.8	-0.5	0.4	1.0
2	-68.4	-61.6	-61.1	-62.1	-6.8	-7.3	-6.3	-0.5	0.5	1.0
3	-72.2	-62.6	-60.7	-63.7	-9.7	-11.5	-8.5	-1.8	1.2	3.0
4	-72.2	-62.8	-60.1	-62.1	-9.4	-12.1	-10.1	-2.7	-0.7	2.0
5	-69.2	-61.7	-56.7	-58.4	-7.5	-9.6	-6.6	-5.4	-3.4	3.0
6	-64.5	-61.3	-54.9	-57.9	-3.3	-5.7	-4.7	-6.2	-2.5	3.7
7	-65.9	-62.2	-56.0	-59.7	-3.7	-9.9	-6.2	-6.2	-2.5	3.7
8	-70.2	-60.2	-56.6	-60.2	-10.0	-13.6	-10.0	-3.6	0.0	3.6
9	-70.6	-59.2	-56.1	-57.2	-11.4	-14.5	-13.4	-3.1	-2.0	1.1
10	-68.3	-59.1	-55.2	-56.5	-9.2	-13.1	-11.8	-3.9	-2.6	1.3
11	-68.0	-59.0	-55.3	-56.6	-9.0	-12.7	-11.4	-3.7	-2.4	1.3
ave.	-68.3	-60.8	-57.0	-59.0	-7.5	-11.3	-9.3	-3.8	-1.8	2.0

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	ave.	max.	min.	rank	ave.	max.	min.	
1	-60.0	-53.6	-60.0	-58.3	-57.1	-53.6	-60.0	27	Δ	235	525	119
2	-59.5	-53.5	-60.0	-58.3	-57.0	-53.5	-60.0	27	X	242	537	120
3	-63.5	-54.7	-60.2	-58.8	-58.1	-54.7	-63.5	26	Δ	184	411	53
4	-63.3	-54.7	-59.0	-58.3	-57.8	-54.7	-63.3	27	Δ	198	407	56
5	-60.2	-53.3	-54.9	-54.1	-54.1	-53.2	-55.6	27	Δ	348	555	118
6	-55.6	-53.2	-53.8	-54.1	-54.1	-53.2	-55.6	27	Δ	468	575	327
7	-57.2	-54.4	-52.5	-54.8	-55.4	-54.4	-57.2	26	Δ	350	441	227
8	-61.3	-52.1	-55.5	-56.4	-55.2	-52.1	-61.3	27	Δ	361	741	88
9	-61.6	-50.8	-54.3	-54.4	-53.9	-50.8	-61.6	28	Δ	489	987	84
10	-59.3	-50.7	-53.4	-53.7	-53.4	-50.7	-59.3	28	Δ	554	1010	142
11	-59.0	-50.6	-52.5	-53.8	-53.5	-50.6	-59.0	26	Δ	557	1033	153
SV-ave.					-55.2	-52.6	-59.5					
Total biomass					3986	7222	1484					

ST.20 day

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	dsv1	dsv2	dsv3	dsv4	dsv5	dsv6
1	-68.3	-63.5	-59.5	-63.9	-4.8	-8.8	-4.4	-4.0	0.4	4.4
2	-67.8	-63.4	-59.5	-63.9	-4.4	-8.3	-3.9	-3.9	0.5	4.4
3	-81.3	-80.1	-78.6	-81.0	-1.2	-2.7	-0.3	-1.5	0.9	2.4
4	-85.8	-85.5	-85.2	-83.8	-0.3	-0.6	-2.0	-0.3	-1.2	-1.4
5	-82.3	-80.8	-75.9	-74.9	-1.5	-6.4	-7.4	-4.9	-5.9	-1.0
6	-81.8	-79.9	-73.6	-74.4	-1.9	-8.2	-7.4	-6.3	-5.2	0.8
7	-77.4	-74.3	-69.8	-71.8	-0.1	-7.6	-5.6	-4.5	-2.5	2.0
8	-74.0	-71.2	-68.3	-69.7	-2.8	-5.7	-4.3	-3.9	-1.5	1.4
9	-75.8	-72.9	-69.0	-68.6	-2.9	-6.8	-7.2	-3.9	-4.3	-0.4
10	-79.5	-78.1	-75.0	-73.6	-1.4	-4.5	-5.9	-3.1	-4.5	-1.4
11	-80.3	-78.3	-75.1	-73.7	-2.0	-5.2	-6.6	-0.2	-4.6	-1.4
ave.	-74.0	-69.9	-66.0	-69.3	-4.1	-8.0	-4.7	-3.9	-0.6	3.3

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	ave.	max.	min.	rank	ave.	max.	min.	
1	-59.8	-55.9	-59.5	-57.9	-58.0	-55.9	-59.8	25	Δ	160	306	124
2	-59.3	-55.8	-59.6	-57.9	-57.9	-55.8	-59.5	25	Δ	195	313	134
3	-73.8	-73.9	-78.6	-70.4	-73.1	-70.4	-76.6	21	X	6	11	3
4	-73.1	-72.2	-73.4	-72.4	-72.6	-72.4	-73.0	68	Δ	7	7	6
5	-72.8	-71.5	-71.8	-71.6	-71.9	-71.5	-72.8	27	Δ	6	7	5
6	-68.5	-66.2	-68.2	-68.0	-67.7	-66.2	-68.7	27	Δ	6	8	6
7	-65.1	-63.1	-67.2	-65.9	-65.1	-63.1	-67.2	27	Δ	20	29	16
8	-66.6	-64.3	-66.6	-66.0	-65.9	-64.3	-66.6	29	Δ	37	59	33
9	-68.5	-67.4	-66.8	-65.1	-67.6	-66.8	-68.5	42	Δ	31	44	26
10	-69.8	-67.8	-67.4	-69.1	-68.4	-67.4	-69.8	40	Δ	21	25	17
11	-69.8	-67.8	-67.4	-69.1	-68.4	-67.4	-69.8	40	Δ	17	22	13
SV-ave.					-63.9	-62.0	-65.5					
Total biomass					538	832	375					

(r)

240

ST.21 day

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	36kHz	dsv1	dsv2	dsv3	dsv4	dsv5	dsv6
1	-74.4	-70.1	-67.8	-66.2	-4.3	-6.0	-8.2	-2.3	-3.9	-1.6
2	-74.1	-70.1	-67.9	-66.2	-4.0	-6.2	-7.9	-2.2	-3.9	-1.7
3	-72.1	-74.9	-74.0	-75.8	-2.2	-3.1	-1.3	-0.9	0.9	1.8
4	-72.1	-75.3	-74.8	-78.1	-1.8	-2.3	-1.0	-0.5	0.8	1.3
5	-76.1	-74.2	-73.4	-75.9	-1.9	-2.7	-0.2	-0.8	1.7	2.5
6	-72.5	-71.1	-70.1	-71.9	-1.4	-2.4	-0.6	-1.0	0.8	1.8
7	-67.9	-66.6	-64.6	-66.4	-1.3	-3.3	-1.5	-2.0	-0.2	1.8
8	-68.3	-65.8	-65.0	-67.6	-2.5	-3.3	-0.7	-0.8	1.8	2.6
9	-68.9	-66.0	-66.9	-71.5	-2.9	-2.0	2.6	0.9	5.5	4.6
10	-77.4	-76.4	-75.4	-80.3	-1.0	-2.0	2.9	-1.0	3.9	4.9
11	-77.7	-76.6	-75.6	-80.3	-1.1	-2.2	2.6	-1.1	3.7	4.8
ave.	-72.2	-69.8	-68.7	-69.9	-2.4	-3.4	-2.2	-1.1	0.1	1.2

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	36kHz	ave.	max.	min.	rank	ave.	max.	min.
1	-65.2	-61.5	-65.3	-64.2	-63.8	-61.5	-65.3	29 Δ	51	85	36
2	-63.4	-59.8	-60.6	-62.1	-61.2	-59.8	-63.4	39 Δ	96	126	54
3	-69.6	-68.7	-72.0	-65.2	-68.2	-65.2	-72.0	21 X	18	36	8
4	-69.6	-69.1	-72.8	-65.5	-68.5	-65.5	-72.8	21 X	17	34	5
5	-68.6	-68.0	-71.4	-65.3	-67.8	-65.3	-71.4	21 X	20	35	9
6	-65.0	-64.9	-68.1	-61.3	-64.2	-61.3	-68.1	21 X	46	88	19
7	-59.2	-58.8	-64.1	-61.5	-60.4	-58.8	-64.1	26 X	108	160	46
8	-60.6	-59.6	-63.0	-57.0	-59.6	-57.0	-63.0	21 X	132	238	50
9	-62.0	-60.7	-62.1	-58.7	-60.6	-58.7	-62.1	19 ⊙	103	162	74
10	-70.2	-70.6	-72.1	-65.6	-70.2	-68.6	-72.1	20 ⊙	11	17	2
11	-70.5	-70.6	-72.2	-65.6	-70.3	-68.6	-72.2	20 ⊙	11	17	2
SV-ave.				-63.4	-61.2	-66.1					
Total biomass				608	996	326	Em ³ /km ²				

(s)

ST.SB4 night

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	dv1	dv2	dv3	dv4	dv5	dv6
1	-63.7	-60.6	-58.9	-63.9	-3.1	-4.8	0.2	-1.7	3.3	5.0
2	-73.8	-70.2	-65.1	-68.0	-3.6	-8.7	-5.8	-5.1	-2.2	2.9
3	-71.6	-68.4	-61.8	-65.9	-3.2	-9.8	-5.7	-6.6	-2.5	4.1
4	-70.1	-67.0	-63.6	-64.9	-3.1	-10.5	-5.2	-7.4	-2.1	3.8
5	-67.7	-64.4	-61.9	-61.7	-3.3	-7.8	-6.0	-4.5	-2.7	1.8
6	-66.3	-63.0	-58.9	-62.5	-3.3	-7.4	-3.6	-4.1	-0.5	3.6
7	-65.0	-61.8	-57.7	-61.4	-3.2	-7.3	-3.6	-4.1	-0.4	3.7
8	-66.1	-63.2	-58.7	-62.7	-2.9	-7.4	-3.4	-4.3	-0.5	4.0
9	-71.4	-68.1	-64.6	-68.8	-3.3	-6.8	-2.6	-3.5	0.7	4.2
10	-75.1	-71.2	-68.1	-71.8	-3.9	-7.0	-3.3	-3.1	0.6	3.7
11	-75.4	-71.3	-68.1	-71.6	-4.1	-7.3	-3.6	-3.2	0.5	3.7
ave.	-68.0	-64.8	-60.7	-64.6	-3.2	-7.3	-3.5	-4.1	-0.3	3.8

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	ave.	max.	min.	rank	ave.	max.	min.
1	-56.2	-54.4	-56.9	-53.2	-55.0	-53.3	-56.9	21 Δ	381	557	244
2	-64.9	-63.1	-64.0	-64.2	-63.7	-62.1	-64.9	27 Δ	52	74	38
3	-62.9	-60.6	-61.3	-61.0	-61.4	-60.6	-62.9	26 Δ	87	106	61
4	-61.4	-59.2	-59.1	-60.0	-59.8	-59.1	-61.4	25 Δ	124	146	86
5	-58.8	-56.3	-58.6	-57.9	-57.8	-56.3	-58.8	27 Δ	198	232	157
6	-57.6	-55.2	-58.4	-57.6	-57.0	-55.2	-58.4	26 Δ	226	266	173
7	-56.3	-54.0	-57.2	-56.5	-55.8	-54.0	-57.2	26 Δ	314	483	226
8	-57.4	-55.4	-58.2	-57.8	-57.1	-55.4	-58.2	25 Δ	236	350	190
9	-62.9	-60.5	-64.5	-62.8	-62.5	-60.5	-64.5	25 Δ	68	106	41
10	-66.6	-63.6	-68.1	-68.8	-65.7	-63.6	-68.1	25 Δ	32	52	18
11	-66.7	-63.5	-67.6	-66.9	-65.9	-63.5	-67.6	25 Δ	31	54	21
SV-ave.					-58.7	-57.1	-60.3				
Total biomass					1762	2577	1245		[m ³ /km ²]		

ST.SB4 day

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	dv1	dv2	dv3	dv4	dv5	dv6
1	-59.5	-55.0	-56.8	-61.6	-3.5	-3.7	2.1	0.8	5.6	4.8
2	-67.7	-73.6	-68.9	-73.7	5.9	1.7	6.0	-4.7	0.1	4.8
3	-78.5	-75.0	-68.9	-75.4	-0.5	-6.6	-0.1	-6.1	0.4	6.6
4	-76.9	-75.3	-70.9	-76.3	-1.6	-6.0	-0.6	-4.4	1.0	5.4
5	-77.1	-74.9	-70.4	-73.5	-2.2	-6.7	-3.6	-4.5	-1.4	3.1
6	-76.7	-74.3	-68.7	-73.0	-2.5	-8.0	-3.7	-5.5	-1.2	4.3
7	-77.9	-74.1	-70.6	-76.3	-3.8	-7.3	-1.6	-3.5	2.3	5.7
8	-79.9	-76.1	-74.7	-79.7	-3.8	-5.2	-0.2	-1.4	3.6	5.0
9	-80.5	-76.9	-79.1	-82.4	-3.6	-1.4	1.9	2.2	5.5	3.7
10	-82.0	-80.3	-80.4	-83.3	-1.7	-1.6	1.3	0.1	3.0	2.9
11	-84.0	-80.8	-80.4	-83.3	-3.2	-3.6	-0.7	-0.4	2.6	2.9
ave.	-68.9	-66.0	-65.9	-70.7	-2.9	-2.9	1.9	0.0	4.8	4.8

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	ave.	max.	min.	rank	ave.	max.	min.
1	-53.6	-50.7	-52.0	-49.8	-50.8	-48.8	-52.6	19 ○	1005	1584	661
2	-60.5	-67.8	-65.6	-62.0	-63.1	-60.5	-67.8	20 X	59	107	20
3	-67.9	-68.1	-68.8	-67.1	-67.8	-67.1	-68.8	23 ○	20	23	16
4	-68.9	-68.4	-70.8	-68.0	-68.9	-68.0	-70.8	23 ○	14	19	10
5	-68.8	-67.1	-69.9	-68.6	-68.4	-67.1	-69.9	26 Δ	17	24	12
6	-68.0	-66.4	-68.2	-68.1	-67.6	-66.4	-68.2	26 Δ	21	26	18
7	-69.9	-67.3	-70.5	-68.0	-68.7	-67.2	-70.5	23 Δ	16	23	11
8	-72.4	-69.0	-72.7	-69.1	-70.8	-69.1	-72.7	21 Δ	10	15	6
9	-73.6	-71.6	-74.3	-69.6	-71.0	-69.6	-74.3	19 Δ	6	13	4
10	-74.8	-74.5	-77.1	-71.6	-74.1	-71.6	-77.1	20 X	5	8	2
11	-76.5	-74.6	-78.4	-72.7	-75.1	-72.7	-78.4	21 X	4	6	2
SV-ave.					-60.6	-58.5	-62.4				
Total biomass					1180	1850	762		[m ³ /km ²]		

(t)

ST.22 night

layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	dsv1	dsv2	dsv3	dsv4	dsv5	dsv6
1	-67.7	-64.2	-62.1	-64.8	-3.5	-5.4	-2.9	-1.9	0.6	2.5
2	-68.8	-65.6	-62.6	-64.6	-3.2	-6.2	-4.2	-3.0	-1.0	2.0
3	-67.1	-63.6	-59.4	-60.8	-3.5	-7.7	-6.3	-4.2	-2.8	1.4
4	-66.0	-62.5	-67.3	-58.8	-3.5	-8.7	-7.2	-5.2	-3.2	1.8
5	-65.1	-62.4	-57.8	-60.4	-3.7	-8.3	-5.7	-4.6	-2.0	2.6
6	-66.3	-62.5	-58.8	-62.1	-3.6	-7.3	-4.0	-3.7	-0.4	3.3
7	-65.3	-61.7	-59.1	-61.6	-3.6	-6.2	-3.7	-2.6	-0.1	2.5
8	-66.9	-63.3	-59.8	-62.6	-3.6	-7.1	-4.3	-3.5	-0.7	2.8
9	-68.9	-65.6	-62.2	-64.3	-3.3	-6.7	-4.6	-3.4	-1.3	2.1
10	-71.4	-68.4	-65.7	-68.1	-3.0	-5.7	-3.3	-2.7	-0.3	2.4
11	-71.3	-68.4	-65.7	-68.1	-2.9	-5.6	-3.2	-2.7	-0.3	2.4
ave.	-67.4	-63.9	-60.2	-62.4	-3.5	-7.2	-4.9	-3.7	-1.4	2.3

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	ave.	max.	min.	rank	ave.	max.	min.
1	-59.0	-56.4	-61.8	-59.9	-58.8	-56.4	-61.8	26 X	157	276	79
2	-59.9	-57.5	-61.5	-60.8	-59.5	-57.8	-61.5	27 Δ	130	214	85
3	-56.2	-55.5	-58.3	-57.0	-57.1	-55.5	-58.3	27 Δ	234	339	178
4	-57.0	-54.1	-55.5	-56.0	-55.5	-54.1	-57.0	28 Δ	396	462	242
5	-57.2	-54.3	-56.7	-56.6	-56.0	-54.3	-57.2	27 Δ	298	447	226
6	-57.4	-54.7	-58.3	-57.3	-56.7	-54.7	-58.3	26 Δ	258	411	176
7	-56.6	-53.9	-58.3	-56.7	-56.1	-53.9	-56.6	26 Δ	294	494	164
8	-56.2	-56.5	-59.3	-57.7	-57.4	-55.5	-59.3	26 Δ	216	342	140
9	-60.0	-57.5	-61.1	-60.5	-59.5	-57.5	-61.1	27 Δ	133	214	95
10	-62.7	-60.6	-65.2	-63.2	-62.6	-60.6	-65.2	26 Δ	66	106	30
11	-62.6	-60.6	-65.2	-63.2	-62.6	-60.6	-65.2	26 Δ	66	106	30
SV-ave.					-57.5	-53.9	-59.6				
Total biomass					2189	3411	1454	[m ³ /km ²]			

ST.22 day

layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	dsv1	dsv2	dsv3	dsv4	dsv5	dsv6
1	-68.4	-65.2	-63.1	-64.4	-3.2	-5.3	-4.0	-2.1	-0.8	1.3
2	-68.1	-64.1	-59.3	-60.6	-4.0	-8.8	-7.5	-4.8	-3.5	1.3
3	-65.9	-62.7	-59.5	-62.2	-3.3	-8.0	-5.9	-4.7	-2.6	2.1
4	-66.7	-63.0	-60.2	-60.3	-3.2	-6.4	-4.0	-3.2	-0.8	2.4
5	-70.0	-66.0	-64.4	-67.1	-4.0	-5.6	-2.9	-1.6	1.1	2.7
6	-72.2	-68.0	-64.9	-66.8	-4.2	-7.3	-5.4	-3.1	-1.2	1.9
7	-73.7	-70.3	-67.8	-70.5	-5.4	-7.9	-5.2	-2.5	0.2	2.7
8	-79.4	-74.0	-69.7	-75.5	-5.1	-9.7	-7.1	-4.0	-2.0	2.6
9	-82.6	-77.5	-72.9	-75.5	-7.1	-12.0	-9.4	-4.9	-2.3	2.6
10	-84.9	-77.8	-72.9	-75.5	-7.1	-12.0	-9.4	-4.9	-2.3	2.6
ave.	-69.9	-66.2	-62.8	-64.9	-3.7	-7.1	-5.0	-3.4	-1.3	2.1

Layer	200kHz	120kHz	50kHz	38kHz	ave.	max.	min.	rank	ave.	max.	min.
1	-59.5	-57.1	-62.0	-60.6	-59.4	-57.1	-62.0	27 X	157	234	76
2	-59.1	-55.7	-57.5	-57.8	-57.4	-55.7	-59.1	28 Δ	221	319	149
3	-59.2	-54.9	-59.0	-57.0	-56.8	-54.9	-59.0	26 Δ	181	257	143
4	-57.2	-54.9	-59.0	-57.0	-56.8	-54.9	-59.0	26 Δ	252	393	150
5	-58.0	-55.2	-59.7	-58.4	-57.5	-55.2	-59.7	26 Δ	214	366	122
6	-61.3	-58.2	-63.9	-62.2	-60.9	-58.2	-63.9	26 X	98	184	58
7	-62.3	-59.9	-63.8	-63.0	-62.2	-59.9	-63.8	27 Δ	72	123	50
8	-63.0	-62.5	-67.3	-65.6	-65.1	-62.5	-67.3	16 Δ	37	56	22
9	-70.5	-65.9	-68.6	-71.7	-71.4	-69.4	-73.7	27 Δ	19	31	11
10	-73.7	-69.4	-71.8	-71.7	-71.8	-69.7	-76.0	27 Δ	8	13	3
11	-76.0	-69.7	-71.8	-71.7	-71.8	-69.7	-76.0	27 Δ	8	13	3
SV-ave.					-60.2	-58.2	-62.3				
Total biomass					1248	2002	784	[m ³ /km ²]			

(u)



