

略 名
北 水 試 報

Sci. Rep.
Hokkaido Fish. Exp. Stn.

CODEN: HSSHBB
ISSN 0441-084X

北海道立水産試験場報告

第 26 号

SCIENTIFIC REPORTS

OF

HOKKAIDO FISHERIES EXPERIMENTAL STATION

No. 26

北海道立水産試験場

(昭和59年3月)

(March, 1984)

北海道立水産試験場報告

第 26 号

目 次

中 田 淳

北海道東部太平洋海域におけるスルメイカの南下移動 1

菊地和夫・野沢 靖・松本英二

堆積物からみたサロマ湖の環境変化について 11

阿部英治・垣内政宏・松山恵二・金子 孝

忍路湾産ホソメコンブの葉面積推定方法について 25

(昭和59年 3 月)

SCIENTIFIC REPORTS
OF
HOKKAIDO FISHERIES EXPERIMENTAL STATION

No. 26

CONTENTS

NAKATA, Jun

- Southward migration of the squid, *Todarodes pacificus*
STEENSTRUP, from the southeastern waters of Hokkaido 1

KIKUCHI, Kazuo, Yasushi NOZAWA and Eiji MATSUMOTO

- Environmental changes of Lake Saroma recorded in sediment
cores 11

ABE, Eiji, Masahiro KAKIUCHI, Keiji MATSUYAMA and Takashi KANEKO

- On the estimating methods of the blade area in *Laminaria*
religiosa MIYABE, Oshoro Bay, Hokkaido 25

(March, 1984)

北海道東部太平洋海域におけるスルメイカの南下移動

中 田 淳

(北海道立釧路水産試験場)

Southward migration of the squid, *Todarodes pacificus* STEENSTRUP, from the southeastern waters of Hokkaido.

Jun NAKATA

Hokkaido Kushiro Fisheries Experimental Station

Hamacho, Kushiro, Hokkaido 085, Japan

The southeastern waters of Hokkaido is one of the major fishing grounds of the squid, *Todarodes pacificus* STEENSTRUP, during summer and autumn. Since the squid moves to south from this waters, its migration gives a great influence on the catch in both the southwestern Hokkaido and the northern Honshu districts in autumn. From the viewpoint of catch forecasts, it is important to clarify the mechanism of its southward migration from this waters.

In this paper, I elucidated the beginning time of southward migration by the tagging experiments, and considered the mechanism based on such biometric data as growth and maturation.

The results were as follows :

1. There were annual variations in the beginning time of southward migration.
2. There were also differences in the mantle length at the time.
3. However, the gonad index, maturity and copulation rates were almost constant.
4. Males and females were just about to mature and to be copulated, respectively.
5. It was suggested that the maturation of male was an important factor of southward migration.

北海道東部太平洋海域(道東海域)は、北海道はもとより本州各地からの多数のイカ釣漁船が操業する日本有数のスルメイカ漁場である。しかし、漁獲量(根室海峡を含む)は、1968年の約290,000tを最高に急激に減少し、1976年以降(1980年を除く)は、約10~1,600tの著しい不漁となっている。ただし、漁獲量の年変動は大きく、不漁つづきの中であって、1980年の約25,000tのように好漁の年もある。

また、この海域から南下移動するスルメイカの動向は、隣接する道南、東北海域の秋の漁況を大きく左右することが知られている(大迫・村田・北片, 1981)。それだけに南下移動のメカニズムを明らかにすることは、漁況予測の精度向上につながる重要な課題である。

道東海域からのスルメイカの南下移動に関して、移動の時期、経路、方向などについては標識放流試験や漁況の推移などから明らかにされてきた(北海道区水産研究所・北海道立水産試験場, 1953; 新谷, 1962; 川崎, 1964; 新谷, 1968; 村上, 1970; 村田, 1970; 村田・新谷, 1970; 新谷・村田, 1972; 安井・久保田・

橋場・斉藤・湊・松井, 1972; 石川・蛭名・久保田・赤羽, 1981; 貞方, 1982)。しかし, 南下移動時期の群の性状(成長・成熟状態, 発育段階など)については, 村上(1970), 村田(1970), 北海道立釧路水産試験場・北海道立函館水産試験場・青森県水産試験場・岩手県水産試験場(1976)の報告があるが, いずれも断片的で十分ではない。また, 南下移動を起こす要因については, 村田(1970)の報告があるだけである。

著者は, これら南下移動時期の群の性状や移動を起こす要因について, 生物測定資料と標識放流試験結果から検討したので報告する。

報告に先立ち, 資料の提供をいただいた函館・青森県・岩手県・石川県の各水産試験場, 北海道区水産研究所, 東北区水産研究所八戸支所に対し厚くお礼申し上げる。

材 料 と 方 法

本研究に用いた資料は, 北海道立釧路水産試験場, 北海道立函館・青森県・岩手県・石川県の各水産試験場, 北海道区水産研究所, 東北区水産研究所八戸支所が, Fig. 1 に示した海域を対象に 1980 年と 1981 年に行った生物測定資料と標識放流試験結果である。また, 比較のために漁獲量水準の高かった 1968 年の生物測定資料も使用した。

測定資料の大部分は, 42°N 以北の道東海域(本研究では, おおむね襟裳岬真東線と納沙布岬真南線で囲まれる海域と規定した)で漁船とイカ調査船が主に釣り漁具で採集した材料にもとづいている。

スルメイカの測定は, 200 カイリ水域内漁業資源総合調査の測定要領に従い, 外套長・体重・性別・生殖腺重量・卵卵腺長・ニーダム氏囊塊重量・肝臓重量・成熟度・交接の有無について行った。

成熟度は, 雌では 2 段階, 雄では 3 段階に分けた。雌では輸卵管内のアメ色の熟卵の有無によって後者を未熟(immature), 前者を成熟(mature)とした。雄では輸精管の白化していないものを未熟(immature),

白化しているが精夾の未形成のものを半熟(maturing), 完全な精夾を有するものを成熟(mature)とした。

成熟度指数(gonad index)は, 雌雄別に(生殖腺重量, g) $\times 10^4 /$ (外套長, cm)³ で求めた。

外套長, 成熟度指数は, 旬の平均値を使用した。成熟度, 交接率は各状態のものの占める割合を旬毎に百分率で示した。

標識放流試験は, 1980 年 8 月 3・4 日に 42°42'~45°N・144°08'~10'E で青森県水産試験場東奥丸が 715 尾放流し, 26 尾の再捕を得た結果(石川ら, 1981)および 1981 年 7 月 15 日に 42°28'N・144°59'E で, 石川県水産試験場白山丸が 3,370 尾放流し, 118 尾の再捕を得た結果(貞方, 1982)を使用した。南下移動の時期を推定するため, 再捕状況を海域別・旬別に分けて整理した。再捕海域は, Fig. 2 に示したように, 緯度を基準に 4 区分し, 42°N 以北を A 海域(道東海域), それ以南を 2 度ごとに B 海域, C 海域そして 38°N 以南を D 海域とした。

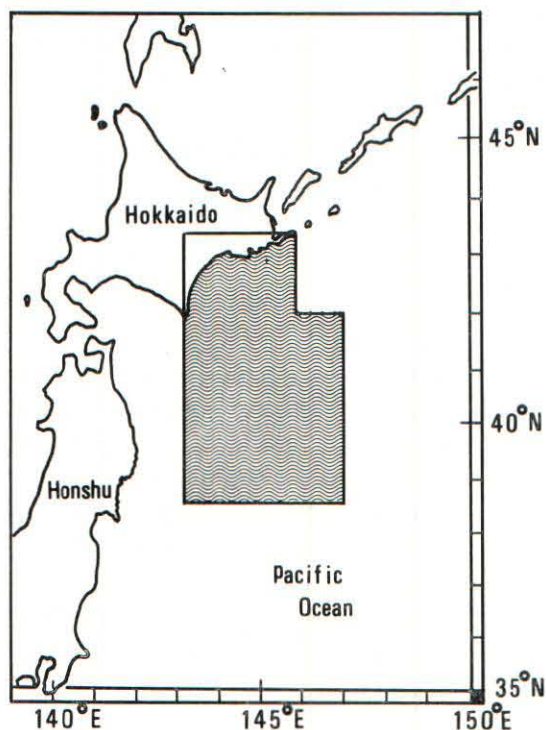


Fig. 1. Map showing the study area.

結 果

1. 南下移動開始時期（以下南下開始期と省略する）の推定

夏季に道東海域に来遊したスルメイカの南下移動開始時期を推定するため、1980、1981年に道東海域で行われた標識放流試験の再捕状況を Fig. 2 に示した。

1980 年 8 月上旬放流の標識イカは 9 月中旬まで A 海域で再捕された。この海域での再捕尾数は旬を追って減少し、それにともなって 9 月上旬から B 海域での再捕が始まった。このことから、南下開始期を 9 月上旬と推定した。

一方、1981 年 7 月中旬放流の標識イカは、放流海域で 1 尾の再捕もなく、2 旬経過した 8 月上旬から B、C 海域でまともな再捕され始めた。以上のことから、1981 年の南下開始期を 1980 年に比べ 1 か月早い 8 月上旬と推定した。

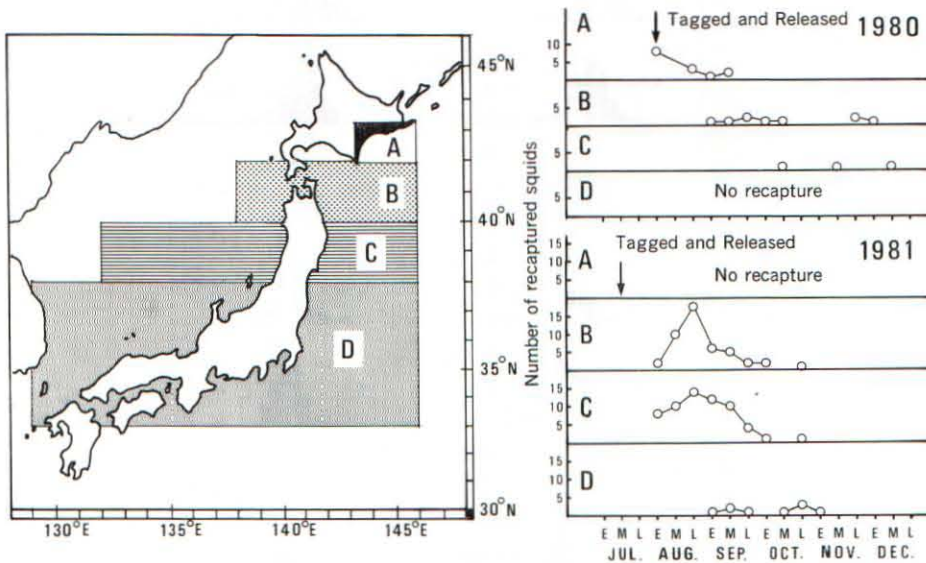


Fig. 2. Southward migration of tagged squids from the southeastern waters of Hokkaido in 1980 and 1981. Left: map showing tagged and released area (A), and recaptured areas (A, B, C, D). Right: changes in the number of recaptured squids in respective four areas.

2. 成長と南下開始期

1980年と1981年の南下開始期の差の原因を明らかにするために、両年の成長について比較した。Fig. 3 に両年の旬別、雌雄別の外套長組成を示した。どの組成も単峰で範囲が狭く正規分布に近似した。組成は旬を追って大きい方に移行するので同一群の成長と考えられた。一方、両年の同時期の組成をくらべると、南下時期の早かった 1981 年の方が、年間を通じて雌雄ともモードで 2~3 cm 大型であった。

つぎに、この外套長組成の旬別の平均値を使って、両年の成長状態の差をくらべたのが Fig. 4 である。この外套長の推移を道東海域における両年の成長とみなし、成長式を求めたところ、次式で表わされた。

$$1980 \text{ 年雌 } L = 0.94t + 17.52 \quad (r = 0.985)$$

$$1980 \text{ 年雄 } L = 0.83t + 17.52 \quad (r = 0.976)$$

$$1981 \text{ 年雌 } L = 0.79t + 20.85 \quad (r = 0.982)$$

$$1981 \text{ 年雄 } L = 0.66t + 20.50 \quad (r = 0.984)$$

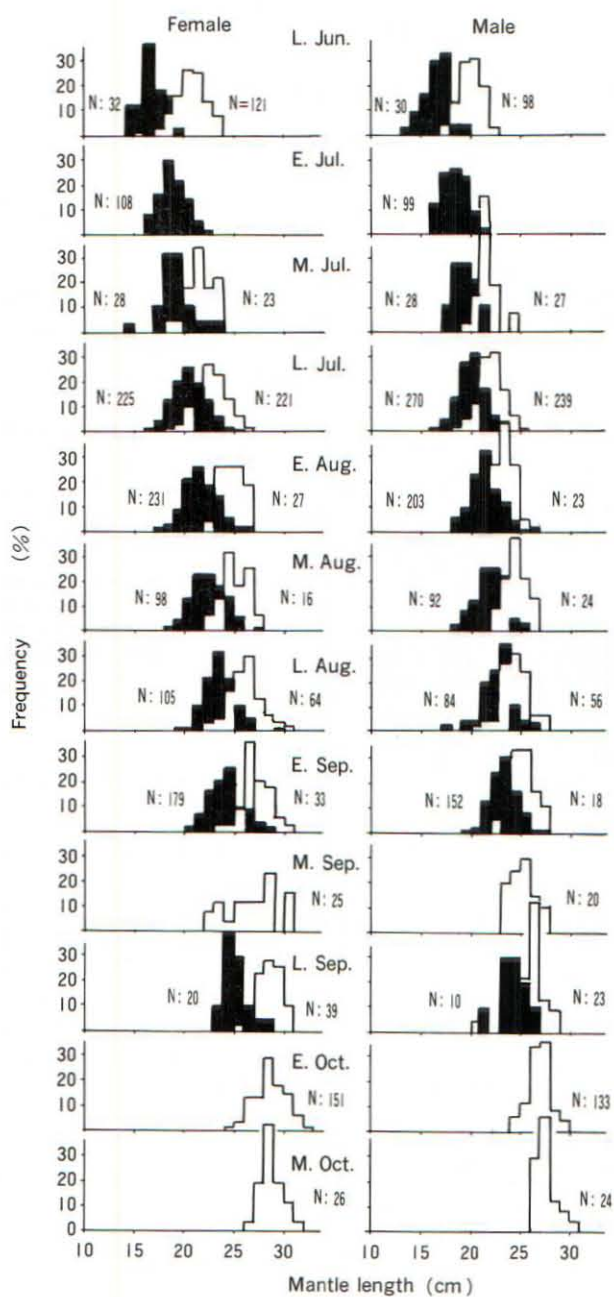


Fig. 3. Frequency distribution of the mantle length of the squid in 1980 and 1981.
 ■, 1980 ; □, 1981.

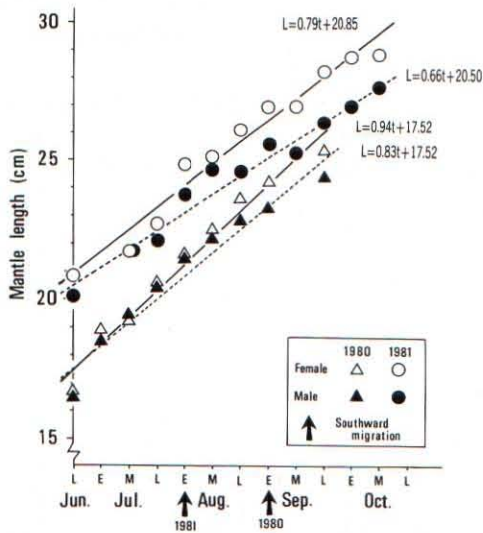


Fig. 4. Growth of the squid in the southeastern waters of Hokkaido in 1980 and 1981. Arrows ($\uparrow$) show the beginning time when the squid migrated southwards from the southeastern waters of Hokkaido. L, mantle length; t, for every ten days, late June : 0, early July : 1, mid July : 2, ...

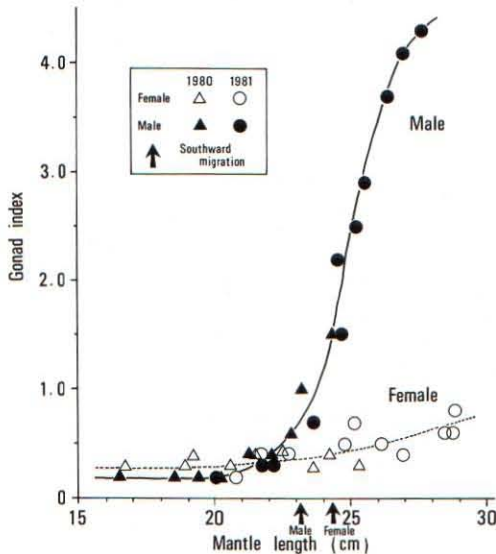


Fig. 5. Changes in the gonad index of the squid with growth in 1980 and 1981. Gonad index, $GW \times 10^4/L^3$; GW, gonad weight in g; L, mantle length in cm.

ただし、ここで t は来遊初期にあたる6月下旬を0、以降順次1旬増すごとに1(7月上旬)、2(7月中旬)、3(7月下旬)とした。Lは外套長(cm)である。

両年の成長を比較すると、旬の成長量の差は約0.2 cmと小さかったのに対し、来遊初期の大きさは1981年が約3 cm大きかった。このことは、両年における外套長の大きさの差が道東海域に来遊する以前からすでにあったことを示すものである。

これらの成長式から両年の南下開始期の外套長を求めた。雌では1980年24.1 cm, 1981年24.0 cm, 雄では1980年23.3 cm, 1981年23.1 cmで両年とも雌雄ではほぼ同様の値であった。

3. 成熟と南下開始期

1980年と1981年の南下開始期の外套長を、成熟との関係で検討した。

Fig. 5に両年の旬平均外套長と旬平均成熟度指数との関係を示した。両年とも成熟度指数は外套長が大きくなるにつれて同様の増加傾向を示したので、両年を含めて雌雄別に曲線をあてはめた。雌の成熟度指数の増加傾向は、雄のそれにくらべゆるやかで外套長28 cmに達してもその値は1.0以下であった。一方、雄の成熟度指数は、外套長22 cm以下では雌の値を下回っていたが、22 cm以上になると指数関数的に増加し、その値は4.0をこえた。

南下開始期の成熟度指数は、先に明らかになった南下開始期の外套長(雌: 24.0~24.1 cm, 雄: 23.1~23.3 cm)をこの曲線にあてはめ求めると、雌はほぼ0.4, 雄はほぼ0.6~0.7で、いずれも極めて低い値であった。しかし、雄の場合、この値は成熟度指数が急激に増加する部分に相当した。

つぎに、この成熟度指数曲線が、スルメイカの生殖腺の発達状態や生殖行動とどのようなかわりを持つのかを明らかにするために、外套長と成熟度指数の関係に、肉眼観察にもとづく成熟度組成と交接率の推移を組み合わせFig. 6に示した。

成熟度組成と成熟度指数の変化傾向は、極めてよく対応した。成熟度指数の急激な増加を示した雄では、外套長24 cmまでは、すべて未熟

状態で、これをこえる頃から輸精管の白化した半熟個体が出現し始め、つづいて交接可能な成熟個体が出現し、27 cm をこえると 100% が成熟状態となった。一方、雌では成熟度指数のゆるやかな増加傾向と同様に、どの外套長のものも未熟状態であった。

雌の交接率の推移をみると、外套長 25 cm をこえる頃から交接個体が出現し始め、28 cm 以上では、それが全体のほぼ 25% に達した。また、この交接率の推移と雄の成熟の進行とは時間的にはほぼ一致していた。

南下開始期は、雌雄ともに生殖腺が未熟状態であったが、雄では未熟から成熟へ移行する直前、雌では雄の成熟に対応して交接し始める直前であった。

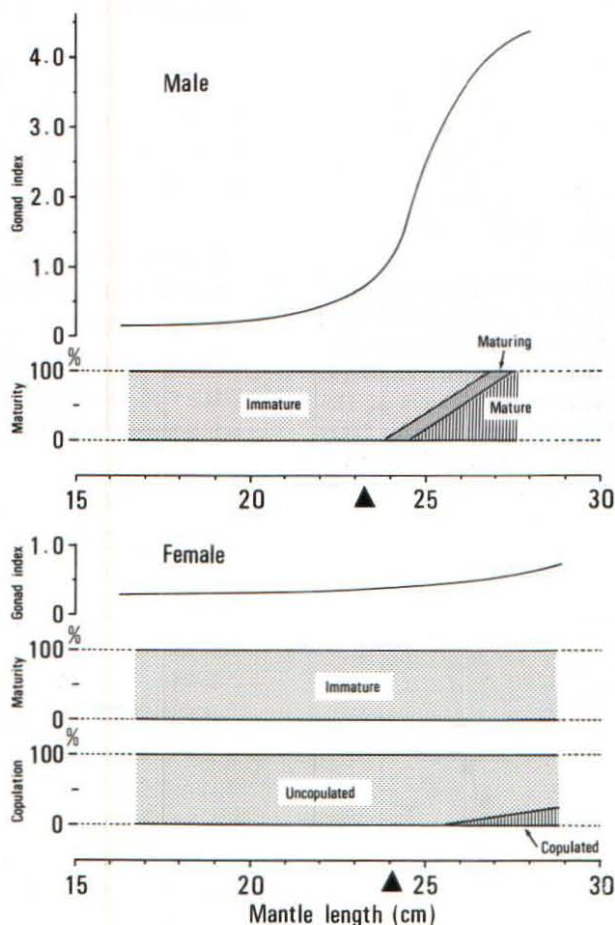


Fig. 6. Changes in the gonad index, maturity and copulation rates of the squid with growth. Closed triangles (▲) show the beginning time of southward migration.

4. 1968 年の南下開始期とその成長・成熟状態

以上得た結果が、1980 年以前の年においても成立したかどうかを、漁獲量水準の高かった 1968 年の資料を用いて検討した。1968 年の南下開始期は、資料が十分でないで、北海道 (1969) のスルメイカ『漁況の概況』の記述にもとづき 9 月上旬と想定した。特に、雄の成長・成熟を重要と考え、雄の南下開始期の外

套長組成と外套長に対する成熟度指数について、1981年の結果と比較した (Fig. 7)。

1968年の南下開始期の外套長組成は、1981年にくらべモードで1 cm くらい小型であった。また、外套長に対する成熟指数は、より小型な個体で増加する傾向を示し、1981年の成長—成熟関係とは異なっていた。しかし、南下開始期の平均外套長から求めた成熟度指数は、両年とも低く1.0以下のよく似た値であった。1968年の値も1981年の成熟度指数と同様に未熟から成熟へ移行する直前のものと考えられた。

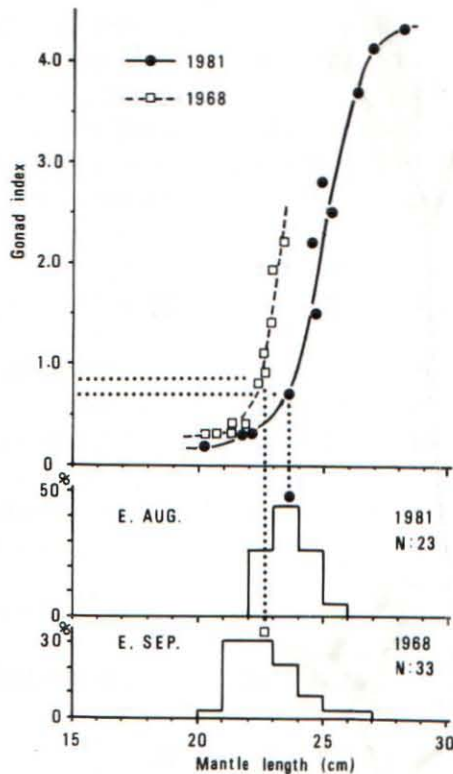


Fig. 7. Mantle length and gonad index of the male squid which began to migrate southward from the southeastern waters of Hokkaido in 1968 and 1981.

考 察

1980年、1981年および1968年3か年の結果から、道東海域からのスルメイカの南下移動には、時期、外套長および外套長に対する成熟度指数の増加傾向には、いずれも年による変動がみられた。しかし、各年ともその時期は、雄では未熟から成熟へ移行する直前、雌では交配し始める時期の直前にあたっていた。すなわち、発育段階の未成体期から成体期へ移行する過渡期に相当していた (北海道立釧路水産試験場ほか、1976) が確認された。

スルメイカの南下移動を起こす要因として、その時期の群の性状から成熟の進行にともなう生理的变化が重要であると指摘されている (伊東・沖山・笠原、1965; 名角、1967; 村田、1970; 村田・小野田・田代・

山岸・鈴内, 1973)。具体的には、北部日本海沖合では成熟雄の増加にともなう交接期への移行(村田ら, 1973)、道東海域の群では雄の過半数が生殖巣重量 0.5~0.1 g 以上であること(村田, 1970)である。

著者が本研究で得た結果は、村田(1970)の結果とほぼ一致し、南下移動を起こす要因として生殖行動(交接)に関連する雄の成熟の進行の重要性が示唆された。

また、村田(1970)は南下移動を起こす環境要因として、シケによる水温の降下が引金的役割をはたしているとして述べているが、本研究では、この点について検討しなかったため南下移動とどうかかわりをもつのかは明らかでなかった。

雄の外套長に対する成熟度指数の関係は、1980年と1981年ではほぼ一致した曲線になったのに対し、1968年ではより小型で成熟度指数が増加する異なった曲線を示した(Figs. 5, 7)。両者の間では漁獲量水準に差があり、後者で著しく高かったため、外套長と成熟度指数の関係は、スルメイカ資源の変動にともなって変化する可能性も考えられるが、これについては過去の資料を整理した上で再度検討する必要がある。

今後、スルメイカの南下移動の研究を進める場合には、1) スルメイカの発育段階と環境との関係、2) 個体レベルにおける成長、成熟の実態、3) 組織学的レベルの成熟過程、などについて解明することが重要である。

要 約

北海道東部太平洋海域におけるスルメイカの南下移動について、1980年、1981年および1968年の生物測定資料と標識放流試験結果から移動時期と群の性状を明らかにし、移動を起こす要因を考察した。

1. 南下移動開始時期、その時期の外套長および外套長に対する成熟度指数の増加傾向には年変動がみられた。
2. 南下移動開始時期の成熟度指数は、各年ともほぼ一定しており、雌では約0.4、雄では1.0以下で成熟度指数としては、いずれも低い値であった。しかし、雄の場合、この値は成熟度指数が急激に増加する部分に相当した。
3. 南下移動開始時期は、雄では未熟から成熟へ移行する直前、雌では交接し始める直前の時期で、発育段階では未成体期から成体期へ移行する過渡期に相当した。
4. 南下移動を起こす要因として、生殖行動(交接)と関連する雄の成熟の進行が重要であると考えた。

文 献

- 新谷久男(1962): 北海道沿岸におけるスルメイカ群の南下移動について 北水試月報 19(12) 33-39
- 新谷久男(1968): 北海道東部太平洋域におけるスルメイカの分布と回遊について 水産海洋研究会報 (12) 61-68
- 新谷久男・村田 守(1972): 北海道東部太平洋域におけるスルメイカの分布と回遊 スルメイカ 漁況予測精度向上のための資源変動機構に関する研究 農林水産技術会議事務局 95-106
- 北海道(1969): 昭和43年度漁海況予報事業結果報告書 87-120
- 北海道区水産研究所・北海道立水産試験場(1953): 北海道区資源調査要報 第4号 スルメイカ 資源調査 No.1 67p
- 北海道立釧路水産試験場・北海道立函館水産試験場・青森県水産試験場・岩手県水産試験場(1976): 道東太平洋海域におけるスルメイカ南下群共同調査報告書(昭和47~49年) 73p
- 石川 哲・蛭名政仁・久保田清吾・赤羽光秋(1981): 昭和55年度スルメイカ太平洋群の南下移動について イカ釣漁場開発調査資料 IV 青森県水産試験場 35-49
- 伊東祐方・沖山宗雄・笠原昭吾(1965): 日本海沖合におけるスルメイカについての2・3の考察 日水研報告 15 55-70

- 川崎正和(1964):北海道恵山岬沿岸秋期のスルメイカ漁況 北水研報告 29 10-23
- 村上幸一(1970):南部千島海域におけるスルメイカの分布と移動について 北水試月報 27(7) 2-13
- 村田 守(1970):北海道太平洋海域におけるスルメイカの移動について 昭和44年度「スルメイカ漁況予測精度向上のための資源変動機構に関する研究」報告会議議事録 水産庁研究部 12
- 村田 守・新谷久男(1970):北海道北東海域におけるスルメイカの生態学的研究(1968) 北水研報告 36 1-17
- 村田 守・小野田 豊・田代征秋・山岸吉弘・鈴木孝行(1973):北部日本海沖合域におけるスルメイカの生態学的研究(1971) 北水研報告 39 1-25
- 名角辰郎(1967):日本海沖合と兵庫県沿岸の秋スルメイカについての2・3の考察 スルメイカの南下機構に関する共同調査報告 山口県外海水産試験場・島根県水産試験場・鳥取県水産試験場・兵庫県水産試験場・京都府水産試験場・福井県水産試験場 72-95
- 大迫正尚・村田 守・北片正章(1981):太平洋海区のスルメイカ・アカイカ及びオホーツク海区のサンマの漁況予測の方法と検証 漁海況予測の方法と検証 水産庁 14-27
- 貞方 勉(1982):1981年釧路沖で漁獲されたスルメイカについて 昭和56年度イカ類資源・漁海況検討会議議事録 北海道区水産研究所 20-28
- 安井達夫・久保田清吾・橋場敏雄・斉藤重男・湊 栄一・松井 勇(1972):東北・北海道太平洋側海域におけるスルメイカの分布と回遊 スルメイカ漁況予測精度向上のための資源変動機構に関する研究 農林水産技術会議事務局 68-94

堆積物からみたサロマ湖の環境変化について

菊地和夫・野沢 靖・松本英二

(北海道立網走水産試験場) (工業技術院地質調査所)

Environmental changes of Lake Saroma recorded in sediment cores

Kazuo KIKUCHI*, Yasushi NOZAWA* and

Eiji MATSUMOTO**

**Hokkaido Abashiri Fisheries Experimental Station
Masuura, Abashiri, Hokkaido 099-31, Japan*

***Geological Survey of Japan, Yatabe, Ibaraki 305, Japan*

Sediment cores were taken from 4 locations in Lake Saroma on July, 1982. Sedimentation rates were determined by Pb-210 method. The contents of carbon, nitrogen and sulfur in sediment core were measured. Then, we revealed the environmental changes recorded in the Lake Saroma sediment cores. The results are as follows;

(1) All of cores showed marked changes in sedimentation rate at 1930-1945, after which time the rates changed from lower to higher value. This change may be related to replacement of lake mouth in A. D. 1929.

(2) The volcanic ash strata were found in sediment cores, the age of which was estimated to be A. D. 1810 $\pm$ 20 with Pb-210.

(3) The contents of carbon and nitrogen increases toward the surface in the uppermost 15 cm. However, the maximum was found below the surface strata. This maximum can be explained by the change in sedimentation rate after replacement of lake mouth. Surface increasing may be related to the recent pollution due to the dense culture of scallop in the lake.

は じ め に

サロマ湖は北海道網走市の西方 25 km のオホーツク海に面した面積約 150 km² の鹹水湖である。サロマ湖とオホーツク海は幅 300~1,000 m, 高さ 3~16 m の海岸外州によって隔てられている。

サロマ湖は、昭和初期まで、湖の東端の鑑沸付近に、オホーツク海との湖口をもつ汽水湖であった。この湖口は浅く、しばしば砂の堆積により閉塞された。そのため、湖水の循環が悪く、夏期には強固な停滞水層が発生し、中層は浅い水温はカキ産卵適水温まで上昇し、天然 マガキの繁殖地となっていた。1929 年 4 月に、湖西の湧別町字三里番屋付近で人工的に湖口を開削した。この湖口開削によって、湖水と外海水との交流がよくなり、塩分は 32~33 ‰ と オホーツク海と変らなくなった。その結果、旧鑑沸湖口は、漂砂によっ

て完全に閉塞され、マガキが衰退し、寒流系のホタテガイの産卵発生に好適な環境となった。1965年頃よりホタテガイ養殖が企業化され、めざましい発展をとげた。

現湖口から遠い距離にある東部水域は、海水交流量が乏しく、西部海域から半ば独立したような水域を形成している。そのため夏期における底層水の溶存酸素量は極めて乏しい事態を生ずることがある。現在、東部海域もホタテガイ垂下養殖場として利用しているが、このような環境は漁場として、すでに老化の徴候を示しはじめてるように見受けられる（富士ら、1973）。これらのことから、湖東部の海水交流をよくして、漁場の生産力を高めるため、1978年12月、湖東の七里に第2湖口が開削された。

しかしながら、近年、サロマ湖において赤潮の発生がみられ、さらに、養殖ホタテガイの異常死がみられるなど、ホタテガイ養殖業にとって深刻な問題が生じている。

我々は堆積物の年代測定ならびに堆積物の全炭素・全窒素および全硫黄量の分析を行い、サロマ湖の環境変化について若干の考察を試みたので報告する。

サロマ湖の概要

サロマ湖は、キムアネツ岬から第2湖口を結ぶ浅部を境として、東西の2つの湖盆に分けられる。湖東は最大水深12mで、起伏の乏しい湖盆である。一方、湖西は第2湖口から現湖口にかけて東西方向に深部が延びており、最大水深は19.5mである。また、現湖口と円山を結ぶ以西は、10mより浅い平坦面が発達している。

サロマ湖に流入する主な河川は、湖東では佐呂間別川、湖西では芭露川と計呂地川である。

サロマ湖の形成史は、大島（1971）に詳しく報告されている。それによると、サロマ湖が現在とほぼ同じ形になったのは縄文後期である。

底質の粒度組成とその起源は、佐竹（1968）によると、10m以深の湖底は泥質で、これは流入河川によってもたらされたものである。湖内沿岸部に分布する中・粗粒砂は砂州起源であり、キムアネツ岬周辺の砂は段丘堆積物の侵蝕による残留堆積物である。

サロマ湖の湖内水の流動、外海水との交流・交換の状況は、第2湖口開削以前には、1966～1968年に尾崎ら（1969）によって調査されている。すなわち、湖口を通過して流入・流出する水量（外海の潮汐によって発生する流れによる）は、およそ $75 \times 10^6 \text{ m}^3$ （7,500万t）に達するが、基準潮位の場合のサロマ湖の全水量約13億tに対しては約5.8%に過ぎず、1回の潮汐によって流入する外海水が直接到達する範囲は、現湖口、芭露川河口沖、円山、湖口と幌岩山との中間点を結ぶ水域の範囲内に限られる。また、加藤・萩野（1973）によって第2湖口開削のための設計調査が行われている。それによると、①計画後の現湖口の流入流量は最大毎秒4,000～4,500t程度で、現況に比べていくぶん減少する。②第2湖口の流量は、現湖口の流量の約11～18%である。③計画後サロマ湖内へ流入する全水量は、1潮汐（24時間）当たり約1億3千tで、現況に比べ約7%増加する。④第2湖口から流入する外海水の影響する範囲は、ほぼ福島番屋（七里）一幌岩線上と推定される。

サロマ湖内漁業および水質環境

サロマ湖内漁業は、1882年（明治15年）、建部丑之輔が牡蠣の乾製品加工のために着業したのに始まり、湖内漁業の中心地は鎗沸で、牡蠣漁業がその主たるものであった（常呂町史編さん委員会、1969）。

サロマ湖の生物調査は、高安ら（1934）によって行われて以来、木下ら（1936）によって詳細に調査された。木下は、湖口変更後の湖内におけるホタテガイ稚貝の発生に着目し、その稚貝採苗および養殖について研究を行った。このホタテガイ稚貝採苗は1936年より企業化され、北海道唯一の採苗地として大規模に事業化された。

従来、サロマ湖内で採苗されたホタテガイ稚貝は、底生生活に移る直前の殻長1cm程度に成長した時に外海漁場へ移殖放流していた。しかし、この程度の大きさの稚貝では、外周条件の変化や害敵に対する抵抗力が弱く、移殖時期が未だかなり高温の時期（8、9月）に当ることも加わって、その増殖効率も低くならざるを得なかった。このような状況から、これを更に人為的に管理し、3～5cmの大きさまで育成する試験が行われ、1965年、中間育成技術が確立し、これによって新しいタイプのホタテガイ増養殖が事業化され

た。その後、めざましい発展を遂げ、1982年3月現在湖内では、外海のホタテガイ漁場維持のため春期に放流される種苗約5億個体を含め、約7億個体のホタテガイが垂下育成されている。

Table 1にみられるとおり、養殖ホタテガイの最高漁獲量は1979年に9,300tに達しているが、1980年、1981年は漁獲量が減少している。これは養殖数量の自主規制（満1年貝、仮養成開始時の保有数5,000万枚）の結果ならびに異常斃死発生の影響と考えられる。

1974年、サロマ湖において初めて *Gonyaulax* 属2種による赤潮が発生（清河・菊地、1975）して以来、1975年、1977年にもみられ、1978年からは *Prorocentrum* 属による赤潮に変って、毎年のように赤潮がみられるよ

Table 1. The annual yield of cultured scallop in Lake Saroma.

Year	Yield (ton)	Year	Yield (ton)
1970	2,488	1976	6,579
1971	2,754	1977	9,027
1972	3,740	1978	7,616
1973	4,668	1979	9,309
1974	4,565	1980	6,771
1975	6,618	1981	5,915

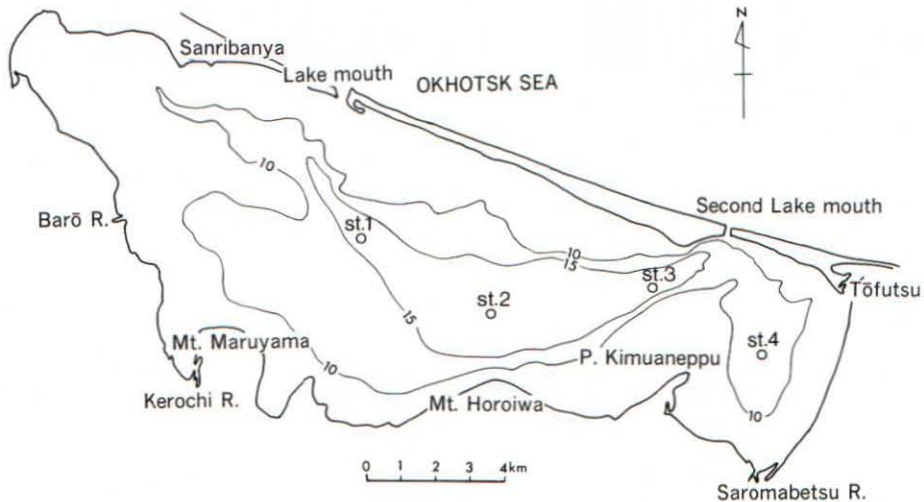


Fig. 1. Location of sampling in Lake Saroma.

うになった。

1978年12月、湖東の七里に第2湖口が開削された。そして、1980年8月、若里地区に養殖ホタテガイの異常斃死がみられ、翌1981年には、湖内全域に広がった。さらに、1982年には、満3年貝でほぼ50%の斃死率となった。この斃死はホタテガイ養殖業にとって極めて深刻な状態にある。

網走水産試験場が調査を行った近年のサロマ湖の水質をみると、1975～1982年における表層水CODの年平均値は、0.81～2.22 ppmの範囲で変動し、経年的な汚濁の進行は認め難い。また、透明度（年平均）についても5.4～7.0 mの範囲で、経年的な悪化は見受けられない。

材料および方法

堆積物柱状試料は、松本・青木式不攪乱柱状採泥器M型（松本、1981）を用いて、1982年7月20日に採取した。試料採取は、Fig. 1に示した水深10m以上の泥質域の4地点で行い、長さ60～80cmの試料を採取した。試料はパイプを鉛直に保ったまま押し出し、2～5 cmごとに切り、プラスチック容器に密封保存した。

鉛—210の分析に先立ち、十分に均一にした試料の一部をとり、湿重量と乾燥重量を測定して含水率を求めた。含水率と間隙水塩分から、乾燥試料中の塩含量を計算し、化学分析値は、塩を含みぬ試料重量にもとずいて記述した。

湿泥の一部をとり、蒸留水で脱塩したのち堆積物の粒子の密度を比重瓶を使って求めた。密度は $2.565 \pm 0.013 \text{ g/cm}^3$ であった。含水率および間隙水と堆積粒子の密度から間隙率を求め、堆積粒子の積算重量を求めた。

鉛—210の分析は、MATSUMOTO & WONG (1977) に従った。鉛—210の濃度は、鉛—210の娘核種であるビスマス—210の β 線を低バックグラウンド・ガスフローカウンターで計測し、試料重量 g 当りの壊変数 dpm/g として表示した。

平均堆積速度は、鉛—210の詳細な鉛直分布を測定し、半対数紙上に積算重量に対して過剰鉛—210濃度

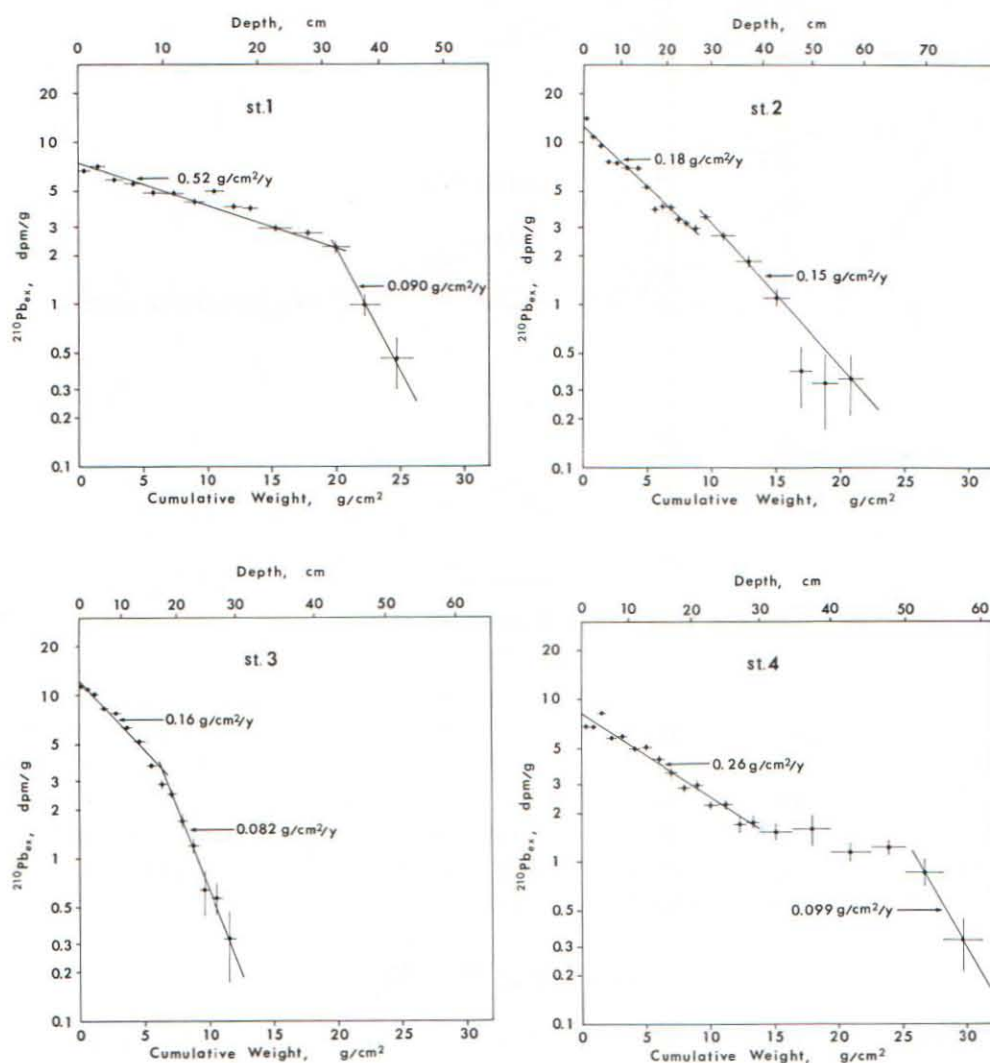


Fig. 2. Profiles of the excess Pb-210 in sediment core as a function of cumulative weight or depth.

をプロットし、その直線の傾きより算出した(松本・富樫, 1980)。ある深さの堆積物が表面にあった年代すなわち堆積年代は、積算重量と平均堆積速度とから求めた。

全炭素・窒素の分析は、原試料を乾燥後乳鉢で粉碎したもの 450~500 mg を精秤し、柳本製 MT-500 型 CN コーダーを用いて同時定量を行った。分析精度は、炭素では、変動係数 1.2%, 窒素は変動係数 3.4% であった。分析値には、原試料の含水率から求めた塩補正を行い、乾燥試料に対する含有率(%)で表わした。なお、乾燥試料に 1 N 塩酸(50°C, 1 時間)処理を行って炭酸塩除去後、同様の分析を行った。酸処理によって消失する炭素量は、全炭素量に対して 4% であった。従って、測定された全炭素量は、有機炭素量とみなすことができる。

全硫黄の分析は、乾燥粉末試料 100mg を秤りとり、堀場製 EMIA-1200 硫黄分析計を用いて定量した。硫黄分析値の変動係数は 1.3% であった。

結 果

1. 堆積速度・年代

分析によって得られた鉛-210 濃度を Table 2 に示した。

鉛-210 濃度は St. 3 の深層部分ではほぼ一定値 0.75 ± 0.10 dpm/g に達しているの、この値を各鉛-210 測定値から差し引いて、過剰鉛-210 ($^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$) とし、その鉛直分布を Fig. 2 に示した。

St. 1: 表層から 35 cm までの堆積速度は $0.52 \text{ g/cm}^2/\text{年}$ である。35 cm 以深では $0.090 \text{ g/cm}^2/\text{年}$ である。堆積速度の変換点は A. D. 1941 年に相当する。

St. 2: 表層 28 cm における堆積速度は $0.18 \text{ g/cm}^2/\text{年}$ である。28 cm 以深では $0.15 \text{ g/cm}^2/\text{年}$ である。堆積速度は A. D. 1932 年を境に変化している。

St. 3: 表層 16 cm における堆積速度は $0.16 \text{ g/cm}^2/\text{年}$ である。16 cm 以深では $0.082 \text{ g/cm}^2/\text{年}$ と表層の約 1/2 である。堆積速度の変換点は A. D. 1945 年である。

St. 4: 表層 30 cm における堆積速度は $0.26 \text{ g/cm}^2/\text{年}$ である。30~50 cm は鉛-210 が一定で非常に速い堆積速度を示している。50 cm 以下では堆積速度は $0.099 \text{ g/cm}^2/\text{年}$ である。30 cm の深さは A. D. 1930 年に相当する。

2. 全炭素、全窒素および C/N 値の鉛直分布

堆積物中の全炭素(C)、全窒素(N)の分析値および C/N 値を Table 3 ならびに Fig. 3 に示した。これらより、4 地点の炭素・窒素および C/N 値はそれぞれ $1.10 \sim 3.68\%$, $0.094 \sim 0.383\%$, $8.7 \sim 19.2$ の範囲であった。鉛直分布の傾向は全炭素・窒素両者よく一致している。

St. 1: 炭素、窒素および C/N 値はそれぞれ、 $1.50 \sim 2.50\%$, $0.094 \sim 0.242\%$, $9.9 \sim 19.2$ であった。炭素量の鉛直分布は表層から 20 cm まではほぼ一定値 ($1.6 \sim 1.8\%$) を示したが、25 cm で激増して 25~45 cm で $2.4 \sim 2.5\%$ となった。45 cm 以深で減少して 55 cm で最小値 1.5% を示した。これを堆積年代でみると、1800 年頃から増加の一途をたどっていたが、1945 年頃から激減して、1955 年頃から現在までほぼ一定である。C/N 値は泥深 25 cm まで 12 以上で高く、深度とともに減少して 30 cm 以深では 10~11 でほぼ一定値である。

St. 2: 炭素、窒素および C/N 値はそれぞれ、 $1.10 \sim 2.98\%$, $0.120 \sim 0.318\%$, $8.7 \sim 11.2$ の範囲である。炭素の鉛直分布は表層 10 cm まで深度とともに激減した。10~35 cm では深度とともに増加し、35~55 cm ではほぼ一定値を示した。この値は表層 2 cm の値とほぼ等しい。55 cm 以深からは激減して、75 cm で最小値となった。そして、75 cm 以深では再び増加している。堆積年代に対比してみると、1800 年前後の最小値から 1875 年まで増加がみられ、その後 1927 年まではほぼ一定値で推移し、1927 年以降から減少傾向がみられて、1970 年代まで続いている。その後、現在まで増加している。C/N 値は表層 2 cm で低いが、それ以深では深さに対して変化に乏しい。

St. 3: 炭素、窒素および C/N 値の範囲は、それぞれ $1.53 \sim 3.07\%$, $0.128 \sim 0.321\%$, $9.6 \sim 12.0$ である。

Table 2. Content of Pb-210 and porosity in the Lake Saroma sediment cores.

Station	Depth (cm)	Porosity	Pb-210 (dpm g ⁻¹)	Age (A.D.)	Remarks
1	0-2	0.823	7.42 ± 0.16	1982	
	2-4	0.761	7.82 ± 0.14		
	4-6	0.741	6.61 ± 0.19		
	6-8	0.704	6.31 ± 0.11		
	8-10	0.677	5.62 ± 0.16		
	10-12	0.690	5.60 ± 0.11	1969	
	12-14	0.680	5.02 ± 0.14		
	14-16	0.695	5.73 ± 0.12		
	16-18	0.732	4.74 ± 0.17		
	18-20	0.760	4.67 ± 0.11		
	20-25	0.793	3.71 ± 0.12	1955	
	25-30	0.813	3.49 ± 0.12		
	30-35	0.837	3.01 ± 0.15	1945	
	35-40	0.812	1.73 ± 0.11		
	40-45	0.803	1.21 ± 0.13	1915	
	45-50	0.811	0.87 ± 0.08		
	50-55	0.772	0.57 ± 0.06	1860	
	55-57	0.726	0.52 ± 0.07		volcanic ash
2	0-2	0.921	14.78 ± 0.23	1982	
	2-4	0.871	11.49 ± 0.21		
	4-6	0.895	10.21 ± 0.24		
	6-8	0.885	8.33 ± 0.22		
	8-10	0.850	8.27 ± 0.17		
	10-12	0.834	7.77 ± 0.22	1966	
	12-14	0.869	7.73 ± 0.18		
	14-16	0.859	6.11 ± 0.17		
	16-18	0.872	4.63 ± 0.14		
	18-20	0.863	4.79 ± 0.16		
	20-22	0.889	4.74 ± 0.16	1946	
	22-24	0.880	4.13 ± 0.15		
	24-26	0.881	3.93 ± 0.17		
	26-28	0.856	3.70 ± 0.15		
	28-30	0.845	4.24 ± 0.15		
	30-35	0.848	3.42 ± 0.13	1927	
	35-40	0.837	2.59 ± 0.11		
	40-45	0.833	1.86 ± 0.10	1901	
	45-50	0.856	1.14 ± 0.12		
	50-55	0.849	1.08 ± 0.12	1875	
	55-60	0.841	1.10 ± 0.10		
	60-65	0.820		1849	
	65-70	0.806	0.77 ± 0.07		
	70-75	0.733			volcanic ash
	75-80	0.837	0.92 ± 0.09		
	80-83	0.826			

Table 2. (continued)

Station	Depth (cm)	Porosity	Pb-210 (dpm g ⁻¹)	Age (A.D.)	Remarks
3	0-2	0.931	11.99 ± 0.29	1982	
	2-4	0.909	11.57 ± 0.21		
	4-6	0.862	10.58 ± 0.24		
	6-8	0.842	8.99 ± 0.13		
	8-10	0.828	8.46 ± 0.18		
	10-12	0.830	7.09 ± 0.15	1962	
	12-14	0.804	5.94 ± 0.19		
	14-16	0.828	4.45 ± 0.13		
	16-18	0.850	3.61 ± 0.17		
	18-20	0.848	3.23 ± 0.12		
	20-22	0.843	2.45 ± 0.14	1927	
	22-24	0.827	1.94 ± 0.08		
	24-26	0.816	1.39 ± 0.17		
	26-28	0.809	1.32 ± 0.07		
	28-30	0.798	1.07 ± 0.11		
	30-35	0.787	0.75 ± 0.08	1870	
	35-40	0.743	0.35 ± 0.07		volcanic ash
	40-45	0.793			
	45-50	0.769	0.78 ± 0.10		
	50-55	0.773			
	55-60	0.803	0.72 ± 0.10		
	60-62	0.803			
4	0-2	0.888	7.55 ± 0.20	1982	
	2-4	0.882	7.52 ± 0.15		
	4-6	0.853	8.95 ± 0.23		
	6-8	0.841	6.50 ± 0.13		
	8-10	0.827	6.66 ± 0.19		
	10-12	0.817	5.69 ± 0.11	1968	
	12-14	0.812	5.80 ± 0.19		
	14-16	0.809	5.06 ± 0.13		
	16-18	0.814	4.30 ± 0.16		
	18-20	0.803	3.59 ± 0.12		
	20-22	0.795	3.71 ± 0.17	1950	
	22-24	0.781	2.98 ± 0.10		
	24-26	0.769	3.00 ± 0.13		
	26-28	0.807	2.46 ± 0.16		
	28-30	0.804	2.51 ± 0.14		
	30-35	0.799	2.28 ± 0.15	1930	
	35-40	0.760	2.35 ± 0.32		
	40-45	0.761	1.90 ± 0.11		
	45-50	0.789	1.98 ± 0.08		
	50-55	0.773	1.61 ± 0.12		
	55-60	0.754	1.08 ± 0.07		
	60-65	0.771	0.83 ± 0.10		
	65-68	0.765	0.81 ± 0.05		

Table 3. Carbon, nitrogen, sulfur and C/N ratio in the Lake Saroma sediment cores.

Station	Depth (m)	Carbon (%)	Nitrogen (%)	Sulfur (%)	C/N
1	0-2	1.82	0.132		13.8
	2-4	1.81	0.094		19.2
	4-6	1.62	0.125		13.0
	6-8	1.64	0.108		15.2
	8-10	1.61	0.111		14.5
	10-12	1.65	0.126		13.1
	12-14	1.68	0.130		12.9
	14-16	1.76	0.135		13.0
	16-18	1.67	0.138		12.1
	18-20	1.59	0.136		11.7
	20-25	1.73	0.144		12.0
	25-30	2.36	0.234		10.1
	30-35	2.50	0.242		10.3
	35-40	2.46	0.233		10.5
	40-45	2.38	0.226		10.5
	45-50	2.12	0.200		10.6
	50-55	1.84	0.160		11.5
	55-57	1.50	0.152		9.9
2	0-2	2.78	0.318	0.82	8.7
	2-4	2.55	0.234	1.18	10.9
	4-6	2.19	0.218	1.06	10.0
	6-8	2.05	0.196	1.06	10.4
	8-10	2.07	0.191	1.09	10.8
	10-12	2.11	0.208	1.06	10.1
	12-14	2.15	0.208		10.3
	14-16	2.08	0.202	1.20	10.3
	16-18	2.18	0.207		10.5
	18-20	2.20	0.212	1.30	10.4
	20-22	2.32	0.239		9.7
	22-24	2.34	0.229	1.38	10.2
	24-26	2.47	0.248		9.9
	26-28	2.58	0.261	1.45	9.9
	28-30	2.67	0.279		9.6
	30-35	2.77	0.282	1.42	9.8
	35-40	2.78	0.277		10.0
	40-45	2.77	0.280	1.31	9.9
	45-50	2.78	0.280		9.9
	50-55	2.98	0.268	1.56	11.1
	55-60	2.60	0.246		10.5
	60-65	2.31	0.207	1.32	11.1
	65-70	2.01	0.180		11.2
	70-75	1.10	0.120	0.84	9.2
	75-80	2.17	0.198		10.9
	80-83	2.21	0.202	1.40	10.9

Table 3. (continued)

Station	Depth (m)	Carbon (%)	Nitrogen (%)	Sulfur (%)	C/N
3	0-2	3.07	0.321	0.69	9.6
	2-4	2.85	0.294	0.85	9.7
	4-6	2.72	0.281	0.86	9.7
	6-8	2.34	0.234	1.22	10.0
	8-10	2.23	0.214	1.27	10.4
	10-12	2.08	0.195	1.29	10.7
	12-14	2.20	0.205		10.7
	14-16	2.18	0.208	1.42	10.5
	16-18	2.33	0.216		10.8
	18-20	2.90	0.272	1.51	10.7
	20-22	3.01	0.274		11.0
	22-24	2.95	0.267	1.64	11.0
	24-26	2.82	0.255		11.0
	26-28	2.80	0.248	1.57	11.3
	28-30	2.72	0.242		11.2
	30-35	2.17	0.182	1.73	11.9
	35-40	1.53	0.128		11.9
	40-45	2.09	0.183	1.44	11.4
	45-50	2.05	0.171		12.0
	50-55	2.14	0.213	1.84	10.0
	55-60	2.46	0.239		10.3
	60-62	2.55	0.247	1.92	10.3
4	0-2	3.68	0.383	0.78	9.6
	2-4	3.14	0.337	0.81	9.3
	4-6	2.97	0.304	0.74	9.8
	6-8	2.69	0.255	0.74	10.5
	8-10	2.69	0.255	0.77	10.5
	10-12	2.68	0.243	0.78	11.0
	12-14	2.35	0.209		11.2
	14-16	2.31	0.209	0.88	11.0
	16-18	2.36	0.215		11.0
	18-20	2.53	0.226	0.87	11.2
	20-22	2.29	0.201		11.4
	22-24	2.22	0.188	0.80	11.8
	24-26	2.08	0.189		11.0
	26-28	2.24	0.208	0.91	10.8
	28-30	2.21	0.205		10.8
	30-35	2.41	0.221	1.02	10.9
	35-40	2.26	0.191		11.8
	40-45	2.38	0.208	0.84	11.4
	45-50	2.55	0.216		11.8
	50-55	2.54	0.223	0.87	11.4
	55-60	2.65	0.226	0.94	11.7
	60-65	2.75	0.229	1.10	12.0
	65-68	2.60	0.224		11.6

炭素の鉛直分布は表層で最も高く、10cmまで深度とともに激減して2.08%となった。12cmから激増して20~22cmで極大値3.01%となった。この値は表層0~2cmとほぼ等しい。30cm以深では深さとともに減少し、35~40cmで激減して最小値を示した。これ以深では増加している。

堆積年代でみると、1800年頃から増加し、1927年から急激な減少がみられ、1962年から再び増加し、現在に至っている。C/N値は表層から50cm位まで深度に伴って漸次高くなっていく。

St. 4: 炭素、窒素およびC/N値の範囲は、それぞれ、2.08~3.68%, 0.188~0.383%, 9.3~12.0であった。炭素の鉛直分布の傾向は、表層から25cmまで深度に伴って減少している。25cm

で最小値がみられ、これ以深では深さとともに漸増している。泥深25cmは1940年に相当している。C/N値は深度とともに漸増の傾向を示している。

このように、サロマ湖堆積物中の炭素、窒素の鉛直分布の特徴は、表層に多く存在することと、中層で再び多くなってピークを有することである。表層18cmまでは、現湖口からの距離に対応して遠いほど多い。中層にみられる極大を形成している深度は、地点によって異なっている。すなわち、St. 1では泥深ほぼ25~55cmの約30cm間に、St. 2では20~70cmの50cm間に、St. 3では20~35cmの15cm間に存在する。St. 4は35cmから70cm以深へと続いている。

3地点において、それぞれ異なった深度に特異的と思われる極小値がみられている。その深度は、St. 1では55~57cmに、St. 2は70~75cmに、St. 3は35~40cmに存在している。この極小層には火山灰が挟在しており、その年代は、鉛-210法の測定結果から、1810±20年頃のものである。St. 4では、試料採取層以深に存在すると推測される。前述の山は、この極小層の上部に形成されている。ピークがさがりはじめる泥深とその年代はそれぞれ、St. 1では30cm、1945年頃に当り、St. 2では28cm、1932年、St. 3では18cm、1936年である(St. 4は不明)。このことから、柱状試料の有機炭素、窒素量の変換点は、1932~1945年頃にみられる。

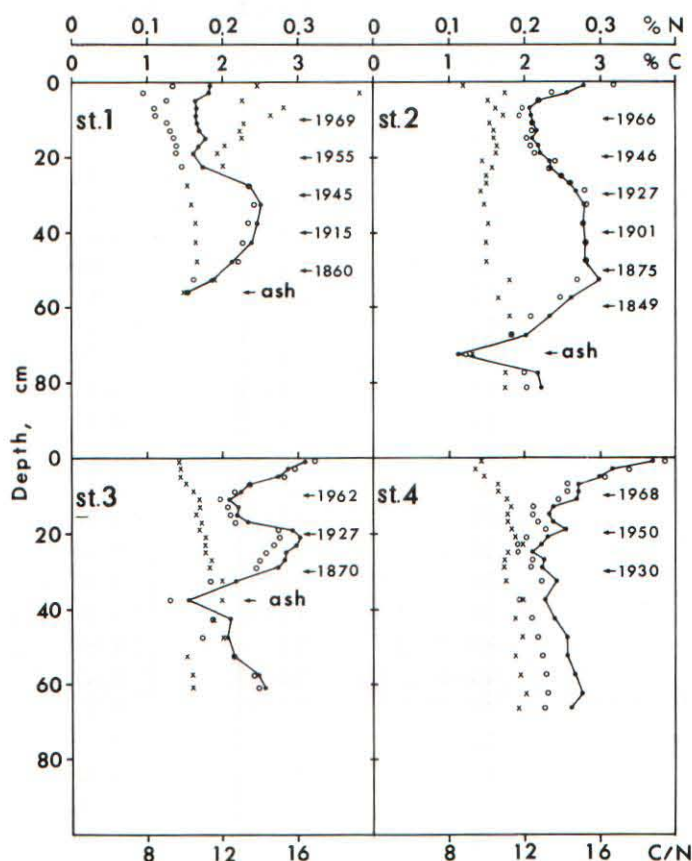


Fig. 3. Profiles of carbon (•), nitrogen (°) and C/N ratio (x) in sediment core as a function of depth or deposition year.

3. 全硫黄量の鉛直分布

全硫黄量の分析結果を Table 3 に示した。

St. 2: 全硫黄量の鉛直分布は 0.82~1.56% の範囲にみられた。表層で最低値がみられ、深度とともに増加の傾向で、50~55 cm で最高値となった。70~75 cm の火山灰挟在層では、低い値であった。

St. 3: 鉛直分布の範囲は 0.69~1.92% であった。表層で最低値が、60~62 cm の深部で最高値がみられ、鉛直的には深度とともに増加した。泥深 40 cm の火山灰挟在層は、比較的低い値である。

St. 4: 鉛直分布の範囲は 0.74~1.10% であった。表層 6~8 cm で最低値、60~65 cm で最高値が得られた。

以上、測定を行った 3 地点のなかでは、全硫黄の最高・最低値ともに St. 3 においてみられた。St. 4 は全体が比較的低い値であった。

考 察

1. 堆積速度からみた環境変化

4 地点のすべてにおいて、堆積速度に変化がみられる。その変換点の年代は 1930~1945 年である。この変化は 1929 年の第 1 湖口（現湖口）の開削に関係するものと考えられる。1929 年開口による湖内環境変化の様子は高安ら（1934）に詳しい。堆積速度の変化からも、1929 年開口は湖内環境にとって大きな変化をもたらしたことが窺われる。

St. 1 における堆積速度の激増は、湖口付近の堆積物の再移動によるものと考えることができる。St. 2, 3 および 4 における堆積速度の増加は、湖口開削による湖水の流動が大きくなったため、閉鎖時に河口付近に堆積していた粒子が、より沖合まで運搬され、堆積するようになったためであろう。

鉛—210 法によって本邦各海域の堆積速度が測定されている。このうち 2, 3 の閉鎖性海域の堆積速度をみると、東京湾では、湾奥西部の $0.5 \text{ g/cm}^2/\text{年}$ 以上の大きな値から、湾東および湾口にむかって減少がみられ、東京湾全域における堆積速度の平均値は $0.18 \text{ g/cm}^2/\text{年}$ である（松本, 1983）。また、三河湾奥では $0.21 \sim 0.24 \text{ g/cm}^2/\text{年}$ である（MATSUNAGA & HANDA, 1983）。噴火湾では $0.06 \sim 0.22 \text{ g/cm}^2/\text{年}$ の範囲にあり、粗粒堆積物の地点を除くと、平均 $0.09 \text{ g/cm}^2/\text{年}$ である。この値は、軽石等の火砕物を含んだもののなので、火砕物を含まない平常時の底泥の堆積速度は、これより小さな値をとると予想される（松本・富樫, 1980）。さらに、大阪湾では $0.067 \sim 0.34 \text{ g/cm}^2/\text{年}$ （松本・横田, 1978）、播磨灘では $0.11 \sim 0.33 \text{ g/cm}^2/\text{年}$ の範囲である（星加ら, 1983）。

St. 1, 2 および 3 の下層に火山灰が挟在している。この火山灰は、根室・網走地方の陸成層の最上部に広くみられる火山噴出物 Me-a 層（北海道火山灰命名委員会, 1982）に対比される。Me-a 層は雌阿寒岳の噴出物とみられているが、噴火に関する記録は、今のところ全く見当たらない（日下部, 1962）。山田（1958）は火山灰を挟む泥炭層の厚さから A. D. 1755 年頃と推定しているが、鉛—210 法による堆積年代からみて A. D. 1810 ± 20 年が妥当である。挟在する火山灰による堆積年代の推定は簡便な方法であり、特に湖の広域調査に有効である。

2. 有機物からみた環境変化

海洋において生産された有機物、あるいは河川によって運ばれた有機物は多かれ少なかれ、さまざまな生物によって分解を受け、その一部が堆積してゆく。また堆積物では表層に最も高濃度の有機物が存在し、深度にしたがって減少することが知られている（門谷ら, 1979, TANOUÉ & HANDA, 1980）。海底に堆積した有機物は統成作用により変質・分解され、安定な状態に移行する。堆積後、比較的短い時間に進行する初期の統成過程は、主として微生物の働きによって進められ、地質学的時間を費して進行する後期統成過程と区別される（松本, 1976）。今回得られた柱状試料の全炭素・窒素は、堆積後報告にあるような統成過程を経て現在に至っていると推定される。

各地点において堆積速度に変換がみられたことは既に述べたが、有機物量にも変化がみられる。表層から深くなるとともに減少するが、中層で再び多くなっている。炭素量の変換点は 1929 年の現湖口開口と関係し

ていることが明らかで、炭素量の減少はおもに堆積速度の増大によると推定される。そして、1965年頃から増加に転じている。この時期はホタテガイ垂下養殖企業化の時期と一致している。表面の値は現湖口から遠い地点ほど大きくなっている。サロマ湖 St. 4 の表層の有機炭素・窒素量を他の海域のそれと比較すると、東京湾中央部、三河湾、噴火湾とはほぼ匹敵する値である。

一般に有機物の分解は、窒素化合物の優先的な分解のために、C/N 比すなわち堆積物中の有機炭素量の有機窒素量（または、ケルダール窒素）に対する比率は、深度とともに増加する傾向がある（小山, 1975, 畑, 1981, TANOUE & HANDA, 1980）。海洋性の有機物は主として動植物プランクトンであり、C/N 比（重量比）は約 6~7 である。

門谷ら（1979）によれば、オホーツク海堆積物の C/N 比は、いくつかの柱状試料を除いて 8 から 10 の範囲に入っており、鉛直的にもあまり大きな変動は示さない。また、TANOUE & HANDA（1980）は、ベーリング海堆積物の C/N 比は 6.3~9.0 の範囲で、その値は深さとともに増加していると報告している。

サロマ湖底泥の柱状試料における C/N 比は 8.7~19.2 の範囲である。その大部分は 10~12 の範囲に入っており、深さとともに漸増する。

St. 1 の表層から 25 cm までの C/N 比は、他の 3 地点と比較して高い。すでに堆積速度の項で述べたが、開口後、現湖口付近の堆積物が流れによって移動して St. 1 付近に再堆積したいわゆる再移動堆積物と考えられる。

堆積物表層における炭素・窒素の鉛直分布は、初期続成分解によるものか、あるいは有機物の堆積の増大によるものかが問題となる。松本ら（1980）は、東京湾の底泥から間隙水を抽出し、間隙水中の硫酸イオン濃度を測定した。それによると、泥深 30~40 cm において深さとともに急激に減少し、それ以下では徐々に減っていく。これは、底泥中で硫酸還元がおきているためであり、硫酸還元にとまって、有機物が酸化分解されている。硫酸イオンが完全に還元されると、メタン発酵がおこるが、表層から 100 cm では硫酸イオンが存在しているため、メタン発酵は起こっていない。硫酸還元反応は、 $2\text{CH}_2\text{O} + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow 2\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{S}$ であらわされる。1 g の有機炭素が酸化分解され、1.33 g の還元硫黄が生成される。生成された硫化水素は、 $\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{FeS} + 2\text{H}^+$ の様に硫化物として底泥中に固定される。この反応は速いので、硫化水素はほとんど泥中にトラップされると考えられる。したがって、泥中の還元硫黄量から、酸化分解された有機炭素量を算出することができる。嫌氣的底泥中の硫黄は、その大部分が還元硫黄である。

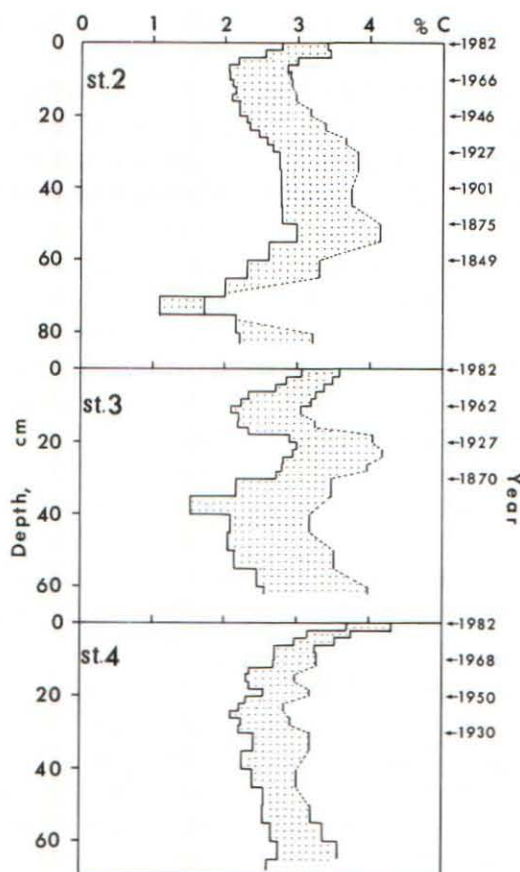


Fig. 4. Profiles of observed carbon (□) and oxidized carbon (▤) contents in sediment core as a function of depth or deposition year.

サロマ湖においてもメタン発酵がなく、硫黄はその大部分が還元硫黄であると考えられるので、全硫黄量から、硫酸還元によって分解された有機炭素量を求めることができる。これを Fig. 4 に示した。現存有機炭素量と分解有機炭素量の和が、堆積時の有機炭素量とみなされる。硫酸イオンによって分解された有機炭素量の堆積時における有機炭素量に対する割合は、13~39%の範囲で、表層では低く14~18%である。表層15 cm までは深度とともに高くなる傾向がみられ、15 cm 以深ではほぼ一定値となっている。15 cm 以深において、硫酸イオンによって分解された有機炭素量は、堆積時の有機炭素量に対して、20~40%である。

Fig. 4 から明らかなように、表層における堆積時の有機炭素量の増加は、最近の底質の有機汚染を示している。

堆積物中の有機炭素の鉛直分布とその年代測定結果から、サロマ湖の底質汚染は、1965年頃から始まったホタテガイ垂下養殖企業化と関連するように思われる。特に湖東部において顕著である。これは、湖東部における海水交流の悪さによるものと考えられる。また、第2湖口による影響は、今のところはっきりと現われていない。

火山灰の同定に際し、ご助言、ご協力をいただいた地質調査所斎藤文紀技官に感謝する。本研究は北海道栽培漁業振興公社のご協力をいただいた。

要 約

1982年7月20日、サロマ湖泥質域の4地点で、堆積物の柱状試料を採取した。この試料について、鉛—210法により年代測定を行い、サロマ湖の堆積速度の算定を行った。また、堆積物中の全炭素、全窒素および全硫黄量から、サロマ湖の環境変動について考察を行った。

(1) 4地点のすべてにおいて、堆積速度に変化がみられた。その変換点の年代は A. D. 1930~1945 年である。この変化は、A. D. 1929 年の現湖口の開削に関係するものと考えられる。

(2) St. 1, 2 および 3 の下層に火山灰が挟在している。この火山灰は、根室、網走地方の陸成層の最上部に広くみられる火山噴出物 Me-a 層に対比される。この噴出物の年代は、鉛—210 法による堆積年代からみて A. D. 1810 ± 20 年 であると考えられる。挟在する火山灰による堆積年代測定は、簡便な方法であり、特に湖の広域調査に有効な手段である。

(3) 有機炭素・窒素は St. 1 を除いて、表層から 15 cm までは深さとともに減少した。しかし、それ以深で4地点とも極大層が認められた。この極大層は、現湖口開口による堆積速度の変化によって説明される。

(4) 柱状試料中の全硫黄量から、堆積後の分解炭素量を算出し、測定で得られた現存炭素量との和から、堆積時の有機炭素量を推定した。その結果、1965 年頃から底質有機汚染がみられ、現湖口から遠い距離にある湖東水域が著しい。底質汚染はホタテガイの垂下養殖に関連すると推定した。

文 献

- 富士 昭ほか (1973): 漁場生産力調査 浅海漁場開発調査事業報告書 (サロマ湖) 97-114
- 畑 幸彦 (1981): 浅海域における有機物の沈降—堆積—分解とバクテリア 沿岸海洋研究ノート 18(2) 112-122
- 北海道火山灰命名委員会 (1982): 北海道の火山灰分布図
- 星加 章・塩沢孝行・松本英二 (1983): 播磨灘における堆積速度と重金属汚染 *J. Oceanogr. Soc. Japan* 39 82-87
- 加藤重一・荻野静也 (1973): サロマ湖の海水交流に関する数値実験 昭和 46~47 年度浅海漁場開発調査事業報告書 (サロマ湖) 3-37
- 木下虎一郎・近藤賢蔵・今井晴一 (1936): 北見国佐呂湖湖産水産動物目録 北水試旬報 (302) 1012-1013

- 清河 進・菊地和夫 (1975): サロマ湖に発生した *Gonyaulax* 属 2 種による 赤潮について 北水試月報 32(9) 21-28
- 小山忠二郎 (1975): 湖沼堆積物の物質変化の機構に関する生物地球化学的考察 水処理技術 16(1) 19-39
- 日下部正雄 (1962): 北海道災異誌 気象庁研究時報 14 307-336
- 松本英二 (1976): 堆積物中の有機物の初期続成作用に関する kinetic model 地球化学 10 23-26
- 松本英二 (1981): 堆積年代測定法 (1) 鉛-210法 地質ニュース 320 47-51
- 松本英二 (1983): 東京湾の底質環境 地球化学 17 27-32
- 松本英二ほか (1980): 赤潮による底質汚染機構に関する研究 工業技術院公害特別研究報告集 No. 60
- 松本英二・富樫茂子 (1980): 噴火湾における堆積速度 *J. Oceanogr. Soc. Japan.* 35 261-267
- MATSUMOTO, E. & WONG, C.S. (1977): Heavy metal sedimentation in Saanich Inlet measured with Pb-210 technique *J. Geophys. Res.* 82 5477-5482
- 松本英二・横田節哉 (1978): 大阪湾底泥の堆積速度と重金属汚染 *J. Oceanogr. Soc. Japan.* 34 108-115
- MATSUNAGA, K. & HANDA, N (1983): Degradation rates of organic matter in the sediments of Mikawa Bay *J. Oceanogr. Soc. Japan.* 39 101-109
- 門谷 茂・米田義昭・深瀬 茂 (1979): オホーツク海堆積物の有機炭素・窒素の水平および鉛直分布について 北大水産彙報 30(4) 306-313
- 尾崎 晃ほか (1969): サロマ湖漁場基礎条件調査 西網走地域浅海漁場開発調査報告書 4-22
- 大島和雄 (1971): 北海道サロマ湖の後水期の地史 地質調査月報 22 615-627
- 佐竹俊孝 (1968): サロマ湖の底質の粒度組成 地質学雑誌 73 429-440
- 高安三次・五十嵐彦仁・近藤賢蔵 (1934): 湖沼調査 (サロマ湖) 水産調査報告 34 道水試
- TANOUE, E. & HANDA, N (1980): Some characteristic features of the vertical profiles of organic matter in recent sediment from the Bering Sea *J. Oceanogr. Soc. Japan.* 36 1-14
- 常呂町史編さん委員会 (1969): 常呂町史 321-370
- 山田 忍 (1958): 火山噴出物の堆積状態から見た沖積世における北海道火山の火山活動に関する研究 地団研専報 No. 8

忍路湾産ホソメコンブの葉面積推定方法について

阿部英治・垣内政宏・松山恵二・金子 孝

(北海道立中央水産試験場)

On the estimating method of the blade area in *Laminaria religiosa* MIYABE, Oshoro Bay, Hokkaido.

Eiji ABE, Masahiro KAKIUCHI,

Keiji MATSUYAMA and Takashi KANEKO

Hokkaido Central Fisheries Experimental Station

Yoichi, Hokkaido 046, Japan

Investigations were made from December 1976 to December 1980 and in June 1983 on seasonal variations in the growth, especially in the projective blade area of *Laminaria religiosa* MIYABE collected at the three experimental sites of Oshoro bay, viz., St. 1 & St. 2, the bay head and St. 3, the bay middle. The estimating methods of the blade area in this alga were discussed. Namely, the relations between the projective blade area and some blade characters such as length, width, wet weight and length $\times$ width were analyzed by use of regressions. The results obtained are summarized below.

(1) The blade forms varied the lanceolate at the bay head to linear lanceolate at the bay middle.

(2) The wing area of the blade occupied about 50 to 70% of the blade area in June. And this time, the areas overlapped by the marginal undulation of blade were 0 to 11% of the blade area and 1 to 7% in average.

(3) The ratios of the projective blade area to the blade length $\times$ blade width in each station were more than 0.52; and 0.66 to 0.85 in average, these ratios were comparatively constant at the sites and in season.

(4) Among the relations between the projective blade area and the other blade characters, the highest coefficient of correlation was obtained between the projective blade area (A) and the blade length (L) $\times$ blade width (W) on exponential form.

(5) The blade area could be estimated by the following regression formulas with very small error:

i) Untill the time of the maximum of blade length $\times$ blade width

$$A = 0.849 (LW)^{0.974} \dots (r = 0.998)$$

ii) After that time:

$$A = 0.749 (LW)^{1.002} \dots (r = 0.995)$$

結 論

ホソメコンブ *Laminaria religiosa* は一年生のコンブ属植物であり、胞子体は毎年12月頃から発生して、葉状部は翌年の4～6月に最大となり、その後“末枯れ現象”のため、12月までに消失する。ホソメコンブの葉状部の大きさや形は、生育場所や季節により様々に変化する。

従来からコンブ類の生態調査では、胞子体について種々の項目が測定され解析に用いられていた。そのうち葉面積は、生長量の解析および葉面積指数の計算などに用いられることが多いのであるが、その測定方法¹⁾²⁾³⁾が容易でないことから、葉長×葉幅を代用値として用いられることが多かった⁴⁾⁵⁾⁶⁾。また、近年では面積計を用いた測定が行われているが、未だ一般に普及していない。そのため、測定容易な部位の値から葉面積を高い精度で推定できれば、葉面積を測定するという煩雑な過程が解消され、生長量の解析や漁場の生物生産量の算出など、多くの利点を有すると考える。

著者らは、1976年12月から4年間、小樽市忍路湾において、ホソメコンブ胞子体葉状部の生長の周年変化について調査を行ってきた。この際、葉面積を実測し、それらのデータを基に、葉面積の推定方法および得られた葉面積推定値の信頼性について若干の考察を行ったので、その結果について報告する。

報告に際し、面積計の使用に便宜をはかられた北海道区水産研究所増殖部藻類研究室長三本菅善昭博士、および調査に種々御協力いただいた北海道大学忍路臨海実験所信太郎氏に深く感謝する。

調 査 方 法

調査場所は、忍路湾湾奥部の東側 (St. 1)、西側 (St. 2)、および湾中央部の西側 (St. 3) の水深30～50 cmの岩盤上に形成されたホソメコンブ群落中に設定した (Fig. 1)。

調査は、1976年12月から1980年12月まで、毎月1回各調査点からホソメコンブを5～50個体宛採集した計1,112個体について、葉体各部位 (葉長、葉幅、葉重量) を測定した後、葉状部の波縮を無視して、その形を台紙に投影し、林電工社製自動面積計で葉面積を測定した。また、葉体の波縮によって重複する部分の面積を、波縮が最も激しくなる6月の個体について、1983年に各調査点から10個体宛採集し、波縮の形成された葉体縁辺部を切り離し、平面に伸してそれぞれ測定を行った。

結 果

1. 葉体各部位の季節変化

葉体各部位の季節変化については、1977年から1980年までの4年間で得られたデータの平均値を用いて述べる。

葉長・葉幅・葉重量

葉長は、各調査点で4～5月まで直線的に増加し、年間の最大は St. 1, 3 で、4月にそれぞれ170.6 cm, 156.3 cm, St. 2 では5月に140.0 cm であった (Fig. 2-a)。

葉幅は各調査点で4～5月まで盛んな広がりを見せ、年間の最大は St. 1, 2 で5月にそれぞれ15.0 cm, 12.7 cm, St. 3 では8月に8.4 cm であった。その後、各調査点では葉体の最大幅の

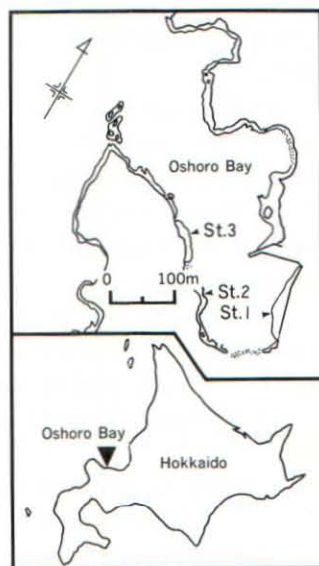


Fig. 1. Maps showing the investigation sites in Oshoro bay and the location in Hokkaido

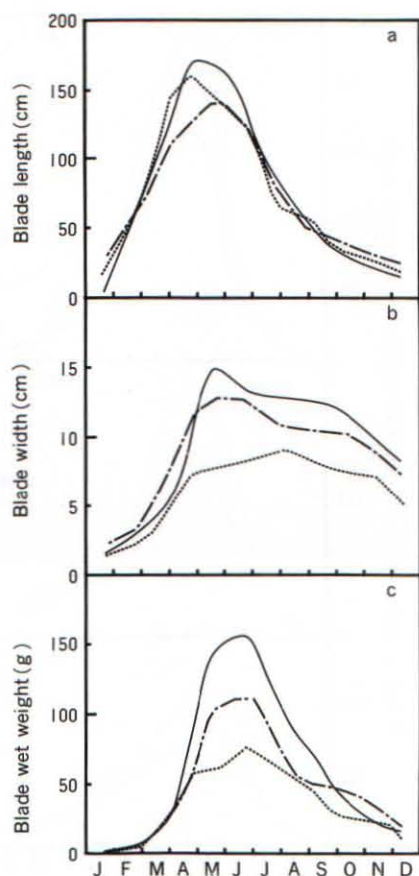


Fig. 2. Seasonal variations in the mean blade length (a), the mean blade width (b) and the mean blade wet weight (c) from 1977 to 1980. (—): St. 1, (---): St. 2, (.....): St. 3.

であった。その後、葉長/葉幅は各調査点で5月までは葉幅の増加で、また、5月以降は末枯れによって減少した (Fig. 3)。

忍路湾のホソメコンブの形態は、湾奥部で幅広の披針形、湾中央部では幅が狭い披針形を呈する特徴が見られた。

葉長×葉幅

葉長×葉幅は各調査点共4~5月まで指数関数的に増加し、年間の最大はSt. 1, 2で5月にそれぞれ2,387.2 cm², 1,840.4 cm², St. 3では4月に1,187.1 cm²であった。その後、各調査点でこの値は減少し、12月に200 cm²以下となった (Fig. 4)。

葉面積

葉面積は各調査点共4~5月まで指数関数的に増加し、年間の最大はSt. 1, 2で5月にそれぞれ1,666.7 cm², 1,273.3 cm², St. 3では4月に819.4 cm²であった。その後、各調査点で葉面積は減少し、12月に150 cm²

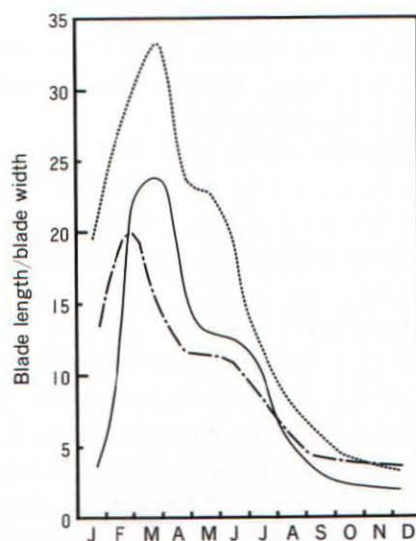


Fig. 3. Seasonal variations in the mean of blade length/blade width from 1977 to 1980. (—): St. 1, (---): St. 2, (.....): St. 3.

部位が流失するため、葉幅はゆるやかに減少した (Fig. 2-b)。

葉重量は各調査点で5月まで指数関数的に増加し、年間の最大は各調査点共6月にそれぞれ157.1 g (St. 1), 111.2 g (St. 2), 76.0 g (St. 3)であった (Fig. 2-c)。

葉長/葉幅 (葉形)

葉長/葉幅は伸長生長の盛んな3月まで各調査点で急速に増加し、年間の最大はSt. 1, 3で3月にそれぞれ23.8, 33.2, St. 2では2月に20.0

以下となった (Fig. 4)。

忍路湾のホソメコンブは、湾奥部で大型、湾中央部で小型であり、しかも、湾中央部では葉面積の最大期が湾奥部よりも早い傾向が見られた。

葉面積は葉長×葉幅よりも常に低く、最大時の両者の差は、St. 1, 2 で5月にそれぞれ721 cm², 567 cm², St. 3 で4月に368 cm² であった。各調査点の葉面積は葉長×葉幅の66~85%の範囲で、両者の周年変化は同一傾向を示した。

波縮部葉面積

ホソメコンブの波縮は、葉体の中帯部を除く縁辺部に形成されるが、幼体時にはほとんど存在せず、葉体が大型になるにしたがい激しく波縮するようになる。

また、Plate I に見られるように、胞子体の最大時における葉状部の形態は、湾奥部の個体でより大型で、波縮が著しい傾向がある。

前述の葉面積は葉体の投影面積を測定したため、波縮によって出来た葉状部の重なり合う部分が葉面積から除かれた。そこで、この波縮による重複部分の葉面積について調べ、その結果を Table 1 に示した。

中帯部を除いた波縮が形成される縁辺部の面積は、全葉面積の約50~70%を占めたが、投影葉面積から除かれた波縮によって生じた誤差は St. 1, 2 で0~11%, 平均がそれぞれ5%, 7%, St. 3 で0~4%, 平均が1%で、湾奥部の個体で波縮が顕著であるため、湾中央部に比べ高かった。しかし、Plate I 程度の波縮を持つコンブの表面積は、その投影面積とほぼ同等の値を示し、波縮によって生じる重複部分の葉面積の全葉面積に占める割合は低かった。

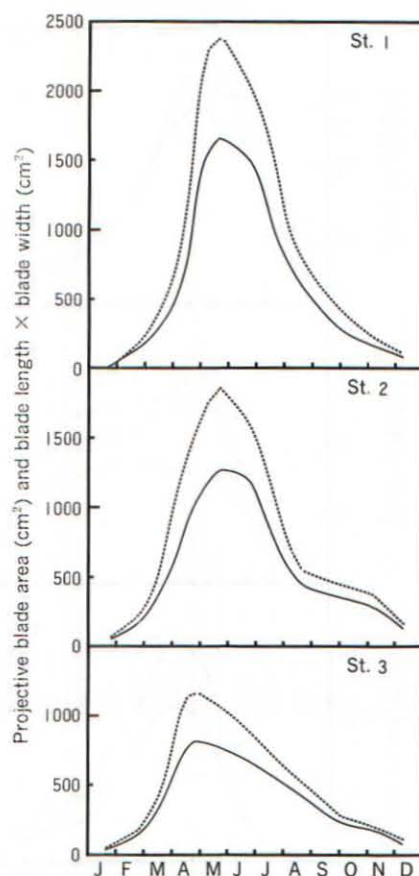


Fig. 4. Seasonal variations in the mean projective blade area (—) and the mean of blade length × blade width (.....) from 1977 to 1980.

Table 1. The blade area and other morphological characters observed on June 10, 1983.

	Blade area (cm ²)		Median fascia area/ blade area		Wing area/ blade area		(Blade area - projective blade area)/blade area		Blade area/ (blade length × blade width)	
	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean
St. 1	658.2-2,072.2	1,502.5	0.34-0.40	0.37	0.60-0.66	0.63	0 -0.09	0.05	0.73-0.91	0.81
	(597.5-2,000.7)	(1,429.4)	(0.36-0.42)	(0.39)	(0.58-0.64)	(0.61)			(0.73-0.87)	(0.76)
St. 2	650.0-2,248.8	1,214.6	0.26-0.39	0.33	0.61-0.74	0.67	0.03-0.11	0.07	0.75-0.93	0.83
	(612.0-2,039.1)	(1,125.2)	(0.29-0.41)	(0.36)	(0.59-0.71)	(0.64)			(0.71-0.86)	(0.77)
St. 3	508.8-1,200.0	807.1	0.37-0.52	0.43	0.48-0.64	0.57	0 -0.04	0.01	0.70-0.86	0.78
	(508.8-1,157.9)	(797.8)	(0.37-0.53)	(0.44)	(0.47-0.63)	(0.56)			(0.70-0.83)	(0.78)

() : Projective blade area

2. 葉面積と葉体各部位の関係

葉面積と葉長、葉幅、葉重量、葉長×葉幅との関係について、調査点別に直線回帰分析を行い、その相関係数を Table 2 に示した。

その結果、葉面積は季節に関係なく、各調査点で葉長、葉重量、葉長×葉幅と相関が高く、特に葉面積と葉長×葉幅の間に非常に高い相関係数が得られた。そこで両者の関係をさらに詳細に調べるため、次に述べる解析を行った。

各調査点の葉面積/(葉長×葉幅)の季節変化を Table 3 に、また調査点別のヒストグラムを Fig. 5 に示した。

葉面積/(葉長×葉幅)は0.52~0.96で、その平均値は0.66~0.85の範囲で変動し、幼体期に高い傾向が

Table 2. Correlation coefficient of the linear relation between the projective blade area and some morphological characters.

	Correlation coefficient			
	St. 1	St. 2	St. 3	St. 1—St. 3
Blade length	0.910	0.915	0.872	0.854
Blade width	0.621	0.789	0.720	0.741
Blade wet weight	0.919	0.922	0.911	0.927
Blade length × blade width	0.989	0.988	0.991	0.991
Sample size	210	380	522	1,112

Table 3. Seasonal variations in the projective blade area/(blade length × blade width) from 1976 to 1980. Confidence limits are shown in 95%.

Month	Projective blade area/(blade length × blade width)								
	St. 1			St. 2			St. 3		
	Range	Mean	Confidence limits	Range	Mean	Confidence limits	Range	Mean	Confidence limits
Dec.							0.64—0.96	0.85	0.04
Jan.	0.60—0.78	0.70	0.06	0.60—0.98	0.80	0.02	0.56—0.86	0.73	0.04
Feb.	0.61—0.93	0.75	0.05	0.68—0.85	0.74	0.02	0.62—0.96	0.82	0.02
Mar.	0.63—0.80	0.70	0.03	0.52—0.76	0.66	0.02	0.61—0.91	0.76	0.03
Apr.	0.54—0.83	0.69	0.03	0.59—0.84	0.68	0.03	0.58—0.93	0.72	0.03
May	0.64—0.82	0.72	0.05	0.56—0.89	0.71	0.03	0.59—0.94	0.72	0.03
June	0.60—0.96	0.75	0.03	0.64—0.88	0.77	0.02	0.62—0.90	0.77	0.02
July	0.59—0.89	0.77	0.03	0.60—0.93	0.78	0.03	0.67—0.95	0.79	0.02
Aug.	0.60—0.92	0.76	0.03	0.62—0.91	0.78	0.02	0.64—0.89	0.79	0.02
Sep.	0.57—0.72	0.71	0.10	0.64—0.88	0.76	0.03	0.70—0.87	0.79	0.03
Oct.	0.56—0.74	0.68	0.05	0.62—0.87	0.76	0.02	0.62—0.90	0.75	0.02
Nov.	0.63—0.78	0.70	0.04	0.65—0.80	0.73	0.04	0.61—0.83	0.72	0.04
Dec.	0.57—0.81	0.69	0.04	0.67—0.86	0.75	0.03	0.62—0.87	0.76	0.03

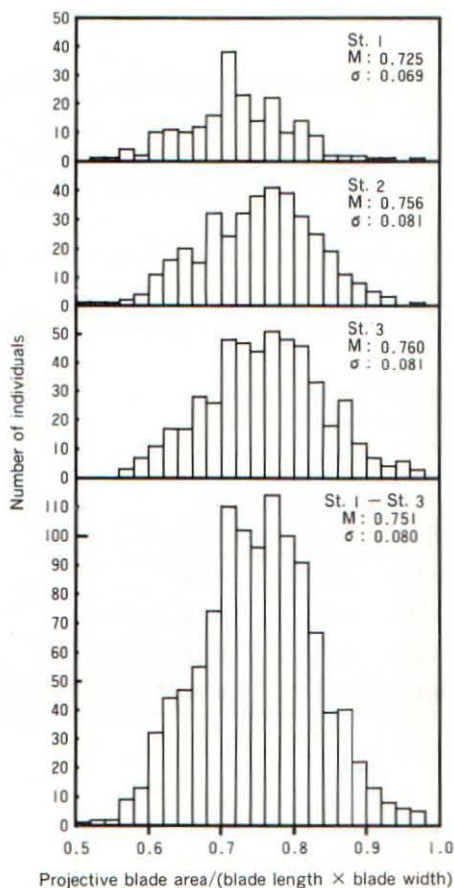


Fig. 5. Frequency distributions of the projective blade area/(blade length $\times$ blade width) from 1976 to 1980. M and σ was obtained by the polymodal analysis.

ある以外、季節による顕著な変化が認められず、また、調査点による差もほとんどなく、周年にわたり比較的安定した傾向を示した。この値は、葉面積が最大となる5月までは小型の個体ほど高く、大型の個体で低かった。“末枯れ現象”の激しくなる6月以降では、多くの個体は0.7~0.8であったが、小型の個体は0.5と1.0付近に多かった。

各調査点の個体の葉面積/(葉長 $\times$ 葉幅)は正規分布を示し (St. 1: $\chi^2=29.71$, d. f. = 18, $0.03 < P < 0.05$, St. 2: $\chi^2=14.93$, d. f. = 20, $0.75 < P < 0.90$, St. 3: $\chi^2=17.24$, d. f. = 18.

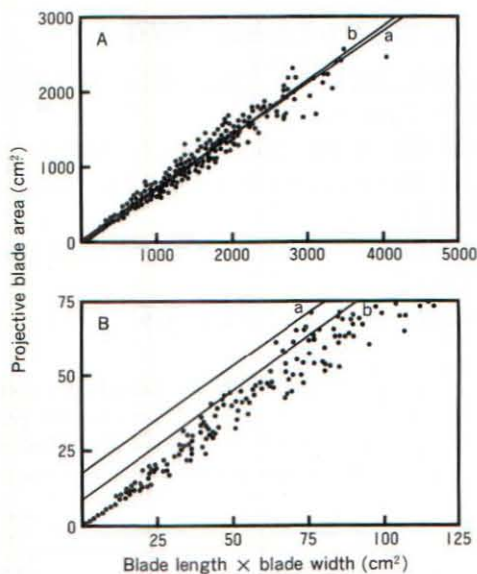


Fig. 6. The relation between the projective blade area and the blade length $\times$ blade width. The linear regression lines are shown. B is magnified 40 times of a part of A.

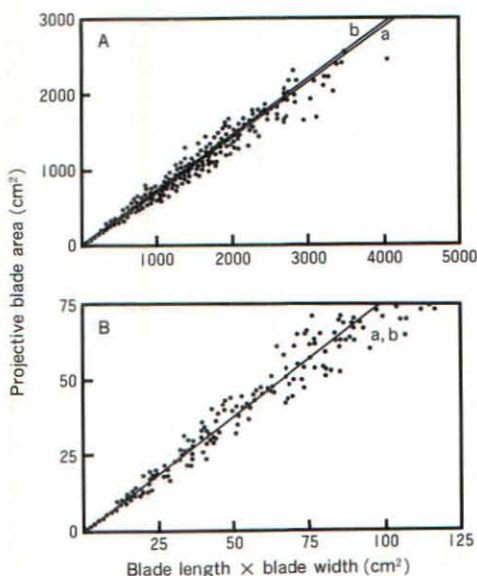


Fig. 7. The relation between the projective blade area and the blade length $\times$ blade width. The exponential regression lines are shown. B is magnified 40 times of a part of A.

0.50 < P < 0.75, St. 1-St. 3: $\chi^2=21.62$, d.f.=20. 0.25 < P < 0.50), polymodal 分析⁷⁾ によって得られた平均と標準偏差は湾奥部, 特に St. 1 で湾中央部よりも低い傾向が見られたが, その値は大差がなかった。

3. 葉面積と葉長×葉幅との回帰分析

直線回帰分析

各調査点から得られた全個体の葉面積と葉長×葉幅は Fig. 6-A に示すように良く集束し, 直線的に分布しており, 両者の関係は I 式に示した。各調査点の間で葉状部の形態に相違が認められたにもかかわらず高い相関が見られた。しかし, この回帰式は Fig. 6-A の一部分を 40 倍に拡大した Fig. 6-B に見られるように, 両者の値が 150 cm² 以下では回帰線に対して実測値群がずれ始め, 60 cm² 以下で実測値群は完全に回帰線にあてはまらなかった。このように, 非常に広い値域を持つ周年の葉面積の解析にとって, 直線回帰分析は不適当であることがわかった。

$$\left. \begin{aligned} A &= 18.991 + 0.720 LW \cdots \cdots (a) \\ LW &= -12.025 + 1.398A \cdots \cdots (b) \end{aligned} \right\} (I)$$

$$r=0.991$$

A: 葉面積 (Projective blade area in cm²)

L: 葉長 (Blade length in cm)

W: 葉幅 (Blade width in cm)

曲線回帰分析

各調査点の個体の葉面積と葉長×葉幅の間には Fig. 7-A に示すような関係があり, 両者の関係は II 式に示した。相関関係は直線回帰分析よりもさらに高く, Fig. 7-A および 同図の一部分を 40 倍に拡大した Fig. 7-B に見られるように, 小型の個体から大型の個体まで, 広い値域の実測値群に対する回帰線のあてはまりが非常に良かった。

$$\left. \begin{aligned} A &= 0.829 (LW)^{0.982} \cdots (a) \\ LW &= 1.238A^{1.014} \cdots (b) \end{aligned} \right\} (II)$$

$$r=0.998$$

さらに, 各調査点の個体は, 葉面積が増加する 5 月までと“末枯れ現象”のため葉面積が減少してゆく 6 月以降では, 葉体の大きさによって, 葉面積/(葉長×葉幅)の値の出現傾向に違いが認められるので, より高い精度を得る目的で各調査点のデータを 5 月までと 6 月以降に分け (Table 4), それぞれについて曲線回帰分析を行い, その結果を Table 5 に示した。5 月までの分析では 葉面積/(葉長×葉幅) は小型の個体は

Table 4. Data used for the estimate of the blade area.

	Station	Sample size	Blade length (cm)		Blade width (cm)		Blade length × blade width (cm ²)		Projective blade area (cm ²)		Projective blade area/ (blade length × blade width)	
			Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean
Dec-May	St. 1	72	3.2-249.0	129.3	1.0-18.3	8.8	3.2-3,484.8	1,369.1	2.3-2,560.5	961.0	0.54-0.93	0.71
	St. 2	167	9.1-208.0	81.3	1.0-21.3	6.5	12.2-3,341.1	735.3	10.7-2,097.7	503.1	0.52-0.98	0.73
	St. 3	309	1.6-265.0	76.6	0.3-11.1	3.3	0.7-2,464.5	401.4	0.6-1,640.0	288.8	0.56-0.96	0.77
	St.1-St.3	548	1.6-265.0	85.2	0.3-21.3	5.0	0.7-3,484.8	630.3	0.6-2,560.5	442.4	0.52-0.98	0.75
June-Dec.	St. 1	138	5.4-225.0	79.0	5.7-20.3	11.5	43.2-4,051.2	980.0	29.1-2,491.7	721.9	0.56-0.96	0.73
	St. 2	213	13.8-194.5	63.5	5.3-16.6	10.4	85.5-3,092.6	727.9	67.0-2,191.7	555.4	0.60-0.93	0.77
	St. 3	213	9.5-218.0	61.8	3.5-17.1	7.8	50.6-2,700.0	520.1	31.9-1,660.0	397.6	0.61-0.95	0.77
	St.1-St.3	564	5.4-225.0	66.6	3.5-20.3	9.7	43.2-4,051.2	711.1	29.1-2,491.7	536.6	0.56-0.96	0.76

Table 5. The regression formulas of relation between the projective blade area and the blade length $\times$ blade width analyzed by exponential regression.

	Station	Sample size	Regression formula	Correlation coefficient
Dec.-May	St. 1	72	$A = 0.742(LW)^{0.993}$	0.999
	St. 2	167	$A = 0.952(LW)^{0.952}$	0.997
	St. 3	309	$A = 0.837(LW)^{0.979}$	0.998
	St. 1-St. 3	548	$A = 0.849(LW)^{0.974}$	0.998
June-Dec.	St. 1	138	$A = 0.650(LW)^{1.018}$	0.995
	St. 2	213	$A = 0.782(LW)^{0.997}$	0.995
	St. 3	213	$A = 0.766(LW)^{1.000}$	0.995
	St. 1-St. 3	564	$A = 0.749(LW)^{1.002}$	0.995

A : Projective blade area (cm²)

L : Blade length (cm)

W : Blade width (cm)

ど高く、大型の個体で低い傾向を示し、一方、6月以降の分析ではその回帰線が直線に近く、5月までと6月以降のデータによる回帰式に明らかな違いが見られた (Slope difference: $F=28.6$, d.f.=1, 1108. $P<0.001$, Positional difference: $F=37.4$, d.f.=1, 1109. $P<0.001$)。

考 察

ホソメコンブの葉面積推定方法

一般にホソメコンブは葉体が生長して大型になるほど縁辺部に波縮が生じ、真の葉面積と本調査で用いたような方法で測定した投影面積との間に差が生じる。しかし、この差は波縮の著しい個体においても小さく、しかもほとんどの場合、一般の漁場に生育するホソメコンブの波縮は、波縮の著しい湾奥部の個体以下であると思われる。従って、ホソメコンブではその投影面積を葉面積として用いても実用上さしつかえないと考える。そして、葉面積と葉長、葉幅、葉重量、葉長 $\times$ 葉幅の関係は、葉面積と葉長 $\times$ 葉幅の間で相関関係が非常に高く、直線的な関係が認められた。この関係は葉体の形態変異と関係がなく、葉面積は葉長 $\times$ 葉幅から推定できると考えられた。しかし、直線回帰分析で得た回帰式を用いた葉面積の推定は精度が低く、特に Fig. 6-Bに見られるように幼体期における小型の個体の推定では実測値群とまったく異なる値が計算され、周年の葉面積の推定に用いるのは不適當であった。

一方、葉面積と葉長 $\times$ 葉幅の曲線回帰分析は、直線回帰分析よりもさらに高い相関関係が認められ、葉面積で $0.6\sim 2,560$ cm² の広範な値域の実測値群に対する回帰線のあてはまりが非常に良好である。特に幼体期に葉面積/(葉長 $\times$ 葉幅)が高い傾向にあるが、小型のデータ群に対する回帰は、Fig. 7-Bにみられるように、直線関係に比べ飛躍的に改善された。

次に、実際に II-(a)式を使って各調査点の各月の実測値群の信頼性をみたところ、Table 6 の推定葉面積合計/葉面積合計欄の d/b に示したように推定値は St. 1 の1月を除き実測値に非常に近かった。さらに、データを葉面積が最大となる5月までと、減少する6月以降に分け各調査点ごとに行った曲線回帰分析では、相関係数は II-(a)式とほとんど変わらないが、5月までと6月以降では明らかに違う回帰式が得られた。

Table 6. Seasonal variations in the sum of projective blade area and the sum of blade area estimated from 1976 to 1980.

Station	Month	a	b	c	d	c/b	d/b
St. 1	Jan.	6	25.8	37.5	30.3	1.45	1.17(1.28)
	Feb.	12	1,938.1	2,685.0	1,969.1	1.39	1.02(1.04)
	Mar.	10	4,418.6	6,409.8	4,592.8	1.45	1.04(1.07)
	Apr.	25	31,140.8	45,014.2	31,389.0	1.45	1.01(1.05)
	May	19	31,666.9	44,431.9	30,811.8	1.40	0.97(1.01)
	June	39	58,564.9	79,380.4	60,268.4	1.36	1.03(0.98)
	July	20	16,709.6	22,042.4	16,719.2	1.32	1.00(0.96)
	Aug.	30	16,817.3	22,804.7	17,286.6	1.36	1.03(0.99)
	Sep.	9	2,864.4	4,203.9	3,183.3	1.47	1.11(1.14)
	Oct.	10	1,305.2	1,933.7	1,461.8	1.48	1.12(1.12)
	Nov.	10	1,647.7	2,357.5	1,783.1	1.43	1.08(1.08)
	Dec.	20	1,710.3	2,486.3	1,878.2	1.45	1.10(1.11)
St. 2	Jan.	60	3,401.1	4,363.7	3,299.6	1.28	0.97(0.98)
	Feb.	20	3,547.1	4,841.9	3,551.6	1.37	1.00(1.03)
	Mar.	32	13,951.0	21,344.3	15,247.4	1.53	1.09(1.13)
	Apr.	25	24,915.4	37,025.8	25,954.2	1.49	1.04(1.08)
	May	30	38,200.0	55,212.9	38,467.0	1.45	1.01(1.05)
	June	47	56,275.6	73,672.1	55,910.3	1.31	0.99(0.97)
	July	35	22,477.1	29,710.4	22,525.3	1.32	1.00(0.97)
	Aug.	46	19,980.1	25,521.4	19,331.4	1.28	0.97(0.95)
	Sep.	20	6,980.7	9,224.4	6,985.2	1.32	1.00(0.98)
	Oct.	35	6,400.4	8,458.3	6,397.4	1.32	1.00(0.99)
	Nov.	10	3,597.1	4,982.0	3,772.6	1.39	1.05(1.03)
	Dec.	20	2,591.4	3,483.8	2,633.1	1.34	1.02(1.02)
St. 3	Dec.	47	79.1	100.2	82.9	1.27	1.05(1.03)
	Jan.	73	1,763.7	2,397.2	1,851.1	1.36	1.05(1.07)
	Feb.	68	7,692.8	9,590.9	7,129.9	1.25	0.93(0.94)
	Mar.	38	18,368.6	24,936.4	17,819.6	1.36	0.97(1.00)
	Apr.	48	38,702.6	55,066.6	38,835.5	1.42	1.00(1.06)
	May	35	22,639.6	31,950.4	22,684.1	1.41	1.00(1.04)
	June	49	38,280.6	50,941.3	38,633.2	1.33	1.01(0.97)
	July	35	16,983.8	21,660.0	16,412.6	1.28	0.97(0.94)
	Aug.	44	16,933.3	21,577.1	16,339.8	1.27	0.97(0.95)
	Sep.	20	4,319.7	5,593.1	4,231.4	1.30	0.98(0.97)
	Oct.	35	5,073.2	6,786.2	5,131.4	1.34	1.01(1.01)
	Nov.	10	1,741.6	2,427.4	1,835.8	1.39	1.05(1.05)
	Dec.	20	1,360.0	1,804.2	1,362.1	1.33	1.00(1.02)

a : Sample size.

b : Sum of the projective blade area (cm²).c : Sum of the blade length × blade width (cm²).d : Sum of the blade area (cm²) estimated by formula (III-1 & 2).() : Sum of the blade area (cm²) estimated by formula (II-a)/sum of the projective blade area (cm²).

葉面積を推定する場合、調査点別、時期別にデータを細分して分析することで得られる複数の回帰式を用いることにより、さらに、その推定値が実測値に近づく可能性がある。しかし、これらの方法を実際の漁場調査へ適用する際、あまりにも細分化された回帰式を用いた推定方法は、実用性に乏しいと考える。

全個体を用いた葉面積と葉長×葉幅の曲線回帰分析では、Figs. 8 & 9 と Table 5 に示したように、調査点ごとの関係とはほぼ同等の高い相関関係が得られた。このデータには種々の形態をもつ葉体が含まれており、葉体の外観的な違いが葉面積と葉長×葉幅の関係におよぼす影響は極めて小さいと言える。従って、葉面積の推定には、生育場所に関係なく、葉長×葉幅との関係から得た曲線回帰式を用いるのが有効であり、この回帰式は葉面積あるいは葉長×葉幅の最大期までと、それ以降の時期の両者の関係をそれぞれ反映した次式を使い分けるのが適当である。

- ① 幼体期から葉長×葉幅の最大期（4～6月）まで

$$A = 0.849 (LW)^{0.974} \dots \dots (III-1)$$

$$r = 0.998$$

- ② 葉長×葉幅の最大期後、葉状部が消失するまで

$$A = 0.749 (LW)^{1.002} \dots \dots (III-2)$$

$$r = 0.995$$

上述した式の葉面積推定値の信頼性を見るため、各調査点の月別の葉面積の実測値の合計 (b) と、上述した式を適用して推定した葉面積の合計値 (d) および両者の比率 (d/b) を Table 6 に示した。推定された葉面積の合計値は、各調査点で葉面積の実測値の合計に非常に近く、その月別の誤差は $-7 \sim +17\%$ で、ほとんどの場合 $\pm 5\%$ 以内で、実測値群に対しても良くあてはまり、個体群の葉面積は周年にわたり葉長と葉幅の測定値から高い精度で推定可能である。

また、III-1, 2 式を用いて推定した個体ごとの葉面積の月別の実測値と推定値との比率を Table 7 に示

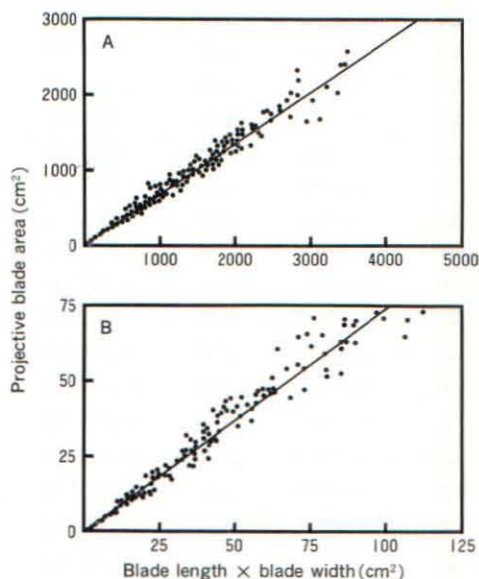


Fig. 8. The relation between the projective blade area and the blade length $\times$ blade width from December to May. The exponential regression line is shown. B is magnified 40 times of a part of A.

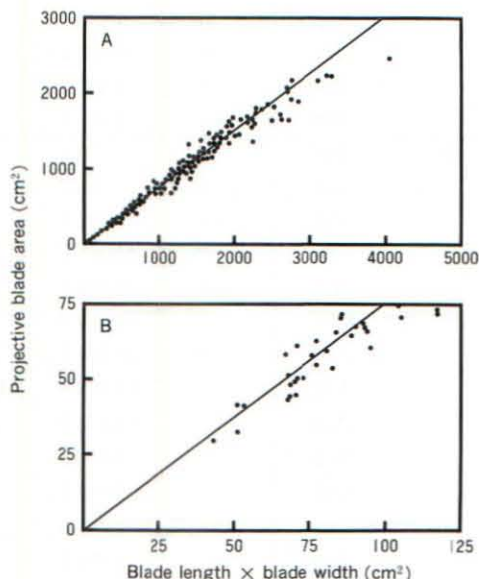


Fig. 9. The relation between the projective blade area and the blade length $\times$ blade width after June. The exponential regression line is shown. B is magnified 40 times of a part of A.

Table 7. Seasonal variations in the ratios of the estimated blade area to the projective blade area from 1976 to 1980.

Month	Blade area estimated / projective blade area		
	Range	Mean	Standard deviation
Dec. - Jan.	0.79 - 1.41	1.03	±0.14
Feb.	0.80 - 1.20	0.95	±0.08
Mar.	0.71 - 1.39	1.02	±0.12
Apr.	0.75 - 1.28	1.02	±0.11
May	0.76 - 1.24	0.99	±0.10
June	0.79 - 1.26	1.00	±0.08
July	0.80 - 1.29	0.98	±0.09
Aug.	0.76 - 1.26	0.98	±0.09
Sep.	0.76 - 1.33	1.00	±0.11
Oct.	0.84 - 1.36	1.03	±0.10
Nov.	0.91 - 1.25	1.06	±0.08
Dec.	0.87 - 1.34	1.04	±0.11

した。葉面積の推定値/実測値は0.71~1.41で、その標準偏差は±0.08~0.14を示し、周年にわたり十分実用性がある値が算出された。

以上、本調査結果からホソメコンブの葉面積の推定に有効な曲線回帰式を提案し、その信頼性について論じたが、今後これらの式はホソメコンブ以外の種に適用可能かどうか検討したい。

要 約

1976年12月から1980年12月までの期間および1983年6月に、小樽市忍路湾の湾奥部(St. 1, 2)と湾中央部(St. 3)に調査点を設定し、ホソメコンブの葉長、葉幅、葉重量、葉面積の季節変化を調査するとともに、葉面積の推定方法について検討し、以下の知見を得た。

1. ホソメコンブの葉長は、湾奥部と湾中央部で類似した値を示したが、葉幅、葉重量および葉面積は、湾奥部で湾中央部に比べ最大1.5~2倍以上の値を示した。葉状部は湾奥部で幅広の披針形、湾中央部で幅の狭い披針形を呈する特徴が見られた。

2. 葉状部の中帯部を除いた波縮が形成された縁辺部面積は、6月の調査で葉面積の約50~70%であったが、この時の波縮による重複部分の面積は、平均1~7%に過ぎなかった。

3. 葉面積と葉状部の各部位との関係は、特に葉面積と葉長×葉幅の間で非常に高い相関係数($r > 0.99$)が得られた。

4. 葉面積/(葉長×葉幅)は0.52以上で、その平均は0.66~0.85で、幼体期に高い傾向がある以外、時期的に顕著な変化は認められず、また調査点による差もほとんどなく、周年比較的安定した傾向を示した。

5. 葉面積と葉長×葉幅の関係は、曲線回帰分析で最も相関関係が高く、葉面積の推定値は、葉長×葉幅の最大期までと、それ以降の時期に分けて求めた次式を適用することにより高い精度が得られた。

① 幼体期から葉長×葉幅の最大期(4~6月)まで

$$A = 0.849 (LW)^{0.974} \quad (r = 0.998)$$

② 葉長×葉幅の最大期後、葉状部が消失するまで

$$A = 0.749 (LW)^{1.002} \quad (r = 0.995)$$

文 献

- 1) KAIN, J. M. (1975) : The biology of *Laminaria hyperborea*. VII. Reproduction of the sporophyte. *J. mar. biol. Ass. U. K.* 55, 567-582
- 2) 大房 剛 (1979) : 生長の測定 265-280 西澤一俊・千原光雄編 藻類研究法 共立出版
- 3) 今井 勝 (1981) : 植物体生長量の測定 5-12 加藤 栄・宮地重遠・村田吉男編 光合成研究法 共立出版
- 4) 鳥居茂樹ら (1972) : コンプの現存量推定方法および群落構造解析法に関する二・三の知見 本誌 (14) 31-44
- 5) 松山恵二・阿部英治・金子 孝 (1982) : 忍路湾産ホソメコンプの化学成分の季節変化 藻類 30 134-138
- 6) 船野 隆 (1983) : ホソメコンプの生態 第2報 小樽市忍路湾の年齢と着生地異なる個体群の生態, および総合考察 本誌 (25) 111-186
- 7) 赤嶺達郎 (1982) : Polymodal な度数分布を正規分布へ分解する BASIC プログラム 日本研報告 (33) 163-166

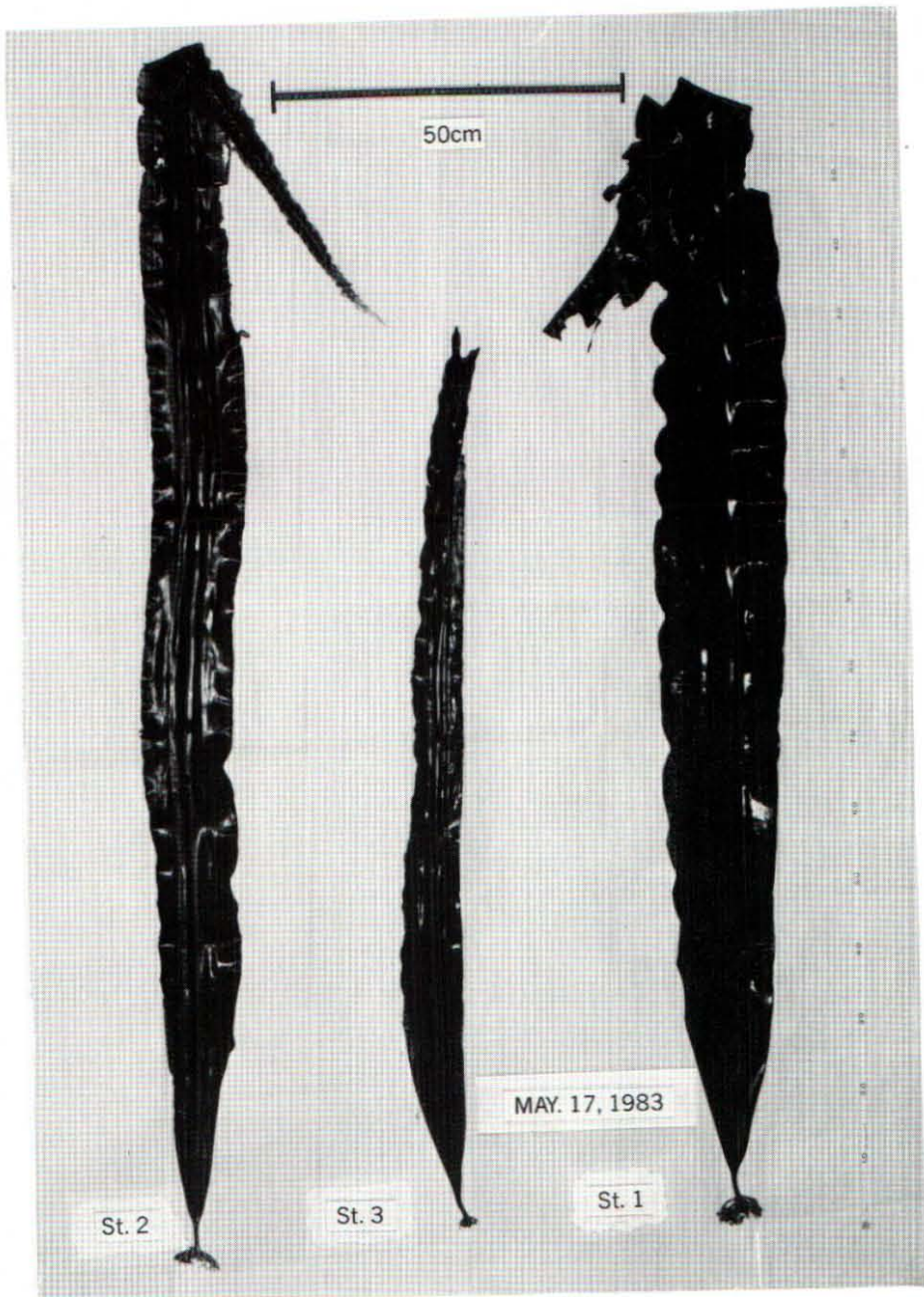


Plate I. Habits of *Laminaria religiosa* MIYABE collected from Oshoro bay.
St. 1 & 2: The bay head, St. 3: The bay middle.

北海道東部太平洋海域におけるスルメイカの 南下移動

中 田 淳

道東海域におけるスルメイカの南下移動について、1980年、1981年および1968年の生物測定資料と標識放流試験結果から、移動時期と群の性状を明らかにし、その移動を起こす要因を考察した。

南下移動開始時期、その時期の外套長および外套長に対する成熟度指数の増加傾向に年変動がみられたが、いずれの年もその時期は、雄が未熟から成熟へ移行し、雌と交配し始める直前の時期であった。発育段階では、未成体期から成体期へ移行する過渡期に相当した。

以上のことから、南下移動を起こす要因として交配行動と関連する雄の成熟の進行が重要であると考えた。

A125 北水試報 26 1-9 1984

忍路湾産ホソメコンブの葉面積推定方法について

阿部英治・垣内政宏・松山恵二・金子 孝

1976年から1980年まで、および1983年に忍路湾の3調査点において、ホソメコンブの葉長・葉幅・葉重量・葉面積の季節変化を調べ、葉面積の推定方法について考察した。葉状体の形態は、湾奥部で幅広い披針形、湾中央部で幅の狭い披針形を呈した。

葉面積は葉長×葉幅との間で最も高い相関が見られ、葉面積/(葉長×葉幅)の値は生育場所や季節と関係なく常に0.52以下を示し、その平均は0.66～0.85であった。

推定葉面積(A)は葉長(L)×葉幅(W)の値から次の2式を用いることで、十分実用可能な値が得られた。

①幼体期から葉長×葉幅の最大期まで

$$A = 0.849(LW)^{0.974} \quad (r = 0.998)$$

②葉長×葉幅の最大期後、葉状部が消失するまで

$$A = 0.749(LW)^{1.002} \quad (r = 0.995)$$

A127 北水試報 26 25-37 1984

堆積物からみたサロマ湖の環境変化について

菊地和夫・野沢 靖・松本英二

1982年7月20日、サロマ湖泥質域の4地点において、堆積物の柱状試料を採取し、鉛-210法により年代測定を行い、サロマ湖底泥の堆積速度を算定した。また、堆積物中の全炭素・窒素および全硫黄量から、サロマ湖の環境変動について考察を行った。

1. 4地点のすべてにおいて、堆積速度に変化がみられた。その変換点の年代は1930～1945年で、1929年の現湖口開削に関係するものと考えられる。

2. St. 1, 2および3の下層に火山灰が挟在している。この噴出物の年代は、鉛-210法による堆積年代からみて A. D. 1810±20年である。

3. 有機炭素・窒素は St. 1を除いて、表層から15cmまでは深さとともに減少した。しかし、それ以深では4地点とも極大層が認められた。この極大層は、現湖口開口による堆積速度の変化によって説明される。

4. 1965年頃から底質の有機汚染がみられ、この汚染は現湖口から遠い距離にある湖東水域が著しい。底質汚染はホタテガイの垂下養殖に関連があると推定した。

A126 北水試報 26 11-24 1984

北海道立水産試験場

北海道立中央水産試験場 (Hokkaido Central Fisheries Experimental Station)	046 余市郡余市町浜中町 238 (Yoichi, Hokkaido, Japan)
北海道立函館水産試験場 (Hokkaido Hakodate Fisheries Experimental Station)	042 函館市湯川町 1-2-66 (Yunokawa, Hakodate, Hokkaido, Japan)
北海道立函館水産試験場室蘭支場 (Muroran Branch, Hokkaido Hakodate Fisheries Experimental Station)	051 室蘭市舟見町 1-133-31 (Funamicho, Muroran, Hokkaido, Japan)
北海道立釧路水産試験場 (Hokkaido Kushiro Fisheries Experimental Station)	085 釧路市浜町 2-6 (Hamacho, Kushiro, Hokkaido, Japan)
北海道立網走水産試験場 (Hokkaido Abashiri Fisheries Experimental Station)	099-31 網走市鱒浦 31 (Masuura, Abashiri, Hokkaido, Japan)
北海道立網走水産試験場紋別支場 (Monbetsu Branch, Hokkaido Abashiri Fisheries Experimental Station)	094 紋別市港町 7 (Minatomachi, Monbetsu, Hokkaido, Japan)
北海道立稚内水産試験場 (Hokkaido Wakkanai Fisheries Experimental Station)	097 稚内市宝来 4-5-4 (Horai, Wakkanai, Hokkaido, Japan)
北海道立栽培漁業総合センター (Hokkaido Institute of Mariculture)	041-14 茅部郡鹿部町字本別 539-112 (Shikabe, Hokkaido, Japan)

昭和59年2月29日印刷

昭和59年3月5日発行

編集兼 発行者	北海道立中央水産試験場 北海道余市郡余市町 電話 0135 (23) 7 4 5 1
印刷者	佐野法重
印刷所	三陽印刷株式会社 札幌市西区手稲東3北2丁目