

# 北海道岩内沿岸における天然コンブ群落の形成と維持

赤池章一<sup>\*1</sup>, 津田藤典<sup>\*2</sup>, 桑原久実<sup>\*3</sup>

Formation and maintenance of the natural *Laminaria* bed on the coast of Iwanai, Hokkaido, Japan.

Shoichi AKAIKE<sup>\*1</sup>, Fujinori TSUDA<sup>\*2</sup>, and Hisami KUWAHARA<sup>\*3</sup>

Macroalgal and sea urchin distribution of the large-scale natural *Laminaria*-bed were investigated by means of aerial photographs and SCUBA from 1989 to 1999 on the coast of Iwanai, Hokkaido, Japan. The *Laminaria*-bed was located off the western brakewater of Iwanai Port. Its area approximated from 22 to 26ha. Vertical distribution of the *Laminaria*-bed extended to about 15m deep. Sea bottom topography of the *Laminaria*-bed was gentle slanted ridge-like feature. Sediment composition of the bed was mainly cobble and boulder from 5 to 100cm in diameter. Macroalgal attached substrata were mainly 5 to 45cm in diameter. Sea urchin density was low and algal species diversity was greater in the bed compared to the "Isoyake" (crustose coralline and sea urchin dominated) area. Low sea urchins density and widening gaps in the bed could be caused by physical disturbances induced by wave action.

キーワード：コンブ目褐藻，ウニ類，磯焼け，海底地形，底質，無機栄養塩類，現存量，物理的攪乱

## はじめに

北海道の岩礁域潮間帯から潮下帯においては，一次生産者であるコンブ目褐藻が優占して生育し，主要な漁業資源となっている。1950年代以降，特に後志から渡島にかけての日本海沿岸において，コンブ目褐藻をはじめとする多くの大型褐藻は，潮間帯から潮下帯上部に分布が縮小し，それ以深はエゾイシゴロモ *Lithophyllum yessoense* を主体とした無節サンゴモが優占し，成長と生殖巣の発達が低下したキタムラサキウニ *Strongylocentrotus nudus* が高密度に分布する磯焼け現象が顕著となった。このため，重要な磯根資源であるウニ類とエゾアワビ *Haliotis discus hannai* の漁業を振興する上で深刻な問題となってきた<sup>1, 2)</sup>。

北海道南西部沿岸においては，磯焼け現象の原因解

明，対策試験が数多く行われてきた。その結果，磯焼けの発生は「対馬暖流の勢力の増大と冬季の季節風の弱화에起因する冬～春の高水温」によりもたらされ，主に「高密度に生息するキタムラサキウニを中心とするウニ類の海藻に対する食害」によって持続していると整理されてきた<sup>3)</sup>。そして高密度に優占するウニ類を人為的に除去することにより，磯焼け地帯において海藻群落を形成することが可能であることが実証されている<sup>4)</sup>。しかし，形成される海藻群落は，必ずしもウニ類やエゾアワビにとって餌料価値の高いコンブ目褐藻<sup>5, 6)</sup>ではなく，またコンブ群落が形成されても，次第により多年生の海藻群落に遷移していくこと<sup>7)</sup>が知られているが，コンブ群落が形成され，維持される機構については未だ十分に明らかにされていない。磯焼け海域においてコンブ群落を育成するためには，天然コンブ群落が形成，維持される機

報文番号 A363 (2002年7月22日受理)

<sup>\*1</sup>北海道立稚内水産試験場 (Hokkaido Wakkanai Fisheries Experimental Station, Suehiro, Wakkanai, Hokkaido 097-0001, Japan)

<sup>\*2</sup>北海道立中央水産試験場 (Hokkaido Central Fisheries Experimental Station, Yoichi, Hokkaido, 046-8555, Japan)

<sup>\*3</sup>水産総合研究センター水産工学研究所 (National Research Institute of Fisheries Engineering, Ebikai, Hasaki, Kashima, Ibaraki 314-0421, Japan)

構を明らかにすることが重要である。本研究では、広い範囲で磯焼けが持続する後志沿岸において、例外的に岩内港西防波堤沖に形成される大規模な天然コンブ群落を経年的に維持される状況を航空写真と潜水調査によって明らかにし、コンブ群落が形成し、維持される要因を考察した。

## 材料及び方法

### 航空写真撮影

航空写真は、北海道南部日本海の積丹半島西岸に位置する岩内町沿岸 (Fig. 1) で、1989, 1990, 1992, 1995~1999年に、海藻類の現存量が年間で極大となる6月に (1990年のみ8月)、高度約900mから撮影した (Leica RC-10, RC-30)。航空写真における色やきめ (texture)、海底からの高さが判別出来るかなどの情報<sup>8)</sup>、潜水調査による観察、ならびに漁場図 (北海道後志支庁 平成5年度岩内敷島内 (岩内) 地区漁場図) から、植生と底質を以下の7区分に判別した。

- コンブ目褐藻 (Laminariales)
- ヒバマタ目褐藻 (Fucales)
- 緑色植物 (Chlorophyta, 主に緑藻 Chlorophyceae)
- 無節サンゴモ (Corallinaceae)
- その他の海藻 (Other macroalgae)
- 裸岩 (Bare rock)
- 砂 (Sand)

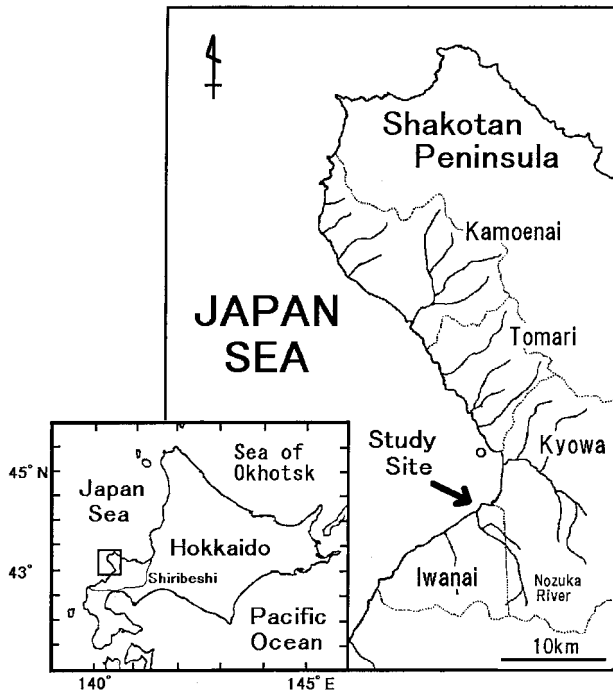


Fig.1 Map Showing study site. Open circle indicates the measuring station of seawater temperature.

### 水温と栄養塩の測定

1989~1998年の調査海域の水温は、北海道電力株式会社が調査地近傍の泊村沖合650m (Fig. 1) で10分ごとに測定している水深10m層の値を用いた。本研究では、岩内港の西防波堤沖合の天然コンブ群落が形成されている海域を「コンブ繁茂域 (Kelp area)」, その南西約1kmの海域を「磯焼け域 (Crustose coralline area)」として、調査を実施した (Fig. 2)。1995年3月24日, 5月31日, 6月28日, 9月6日には、コンブ繁茂域のS-12, S18, S-23, ならびに磯焼け域のT-3の表層 (水深約0.5m) と底層 (海底直上約1m) から、1996年4月9日, 6月26日, 1997年6月23日, 9月16日には、S-1, S-7, S-13, S-19, T-1, T-2, T-3, T-4で、表層 (水面下約0.5m) から底層までを5m間隔で採水し、栄養塩自動測定装置 (テクニコン製オートアナライザーII) を用いてNO<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P, ならびにSiO<sub>2</sub>-Siの濃度を分析した。そして調査期間を通じたコンブ繁茂域と磯焼け域の分析値を、Mann-WhitneyのU検定により統計学的に比較した。さらに、1995年6月9日, 30日, 9月7日には、コンブ群落に近接して流入する野東川の河口から約30m上流地点で採水し、栄養塩濃度を同様に分析した。

### 野外調査

海藻現存量の相違と、底質およびウニ類密度との関係を知るため、1995~1998年の3~12月にかけてコンブ繁茂域と磯焼け域において潜水調査を実施した (Fig. 2)。

1995年は、3月にS-12, 18, 23で、5月及び9月にLine-Aで25m間隔で、6月及び10月にS-12, 18, 23, T-3で、SCUBA潜水により1/16~1/4m<sup>2</sup>方形枠内の海藻を採集した。3, 6, 10月は各地点で3枠, 5, 9月は1枠ずつ採集した。ただし、5月は調査の途中で天候が悪化したため、トランセクトの起点から425m地点までしか調査出来なかった。

1996年4月, 6月, ならびに10月に、コンブ繁茂域の25地点 (S-1~25) と、磯焼け域の4地点 (T-1~4) で、1×1mの方形枠を置き、枠内の写真を撮影後、1区画内 (50×50cm) の海藻を採集した。被度は、写真からコンブ, 無節サンゴモ, その他の海藻, 裸岩, ならびに砂の5つに区分し、1×1m枠内に占める面積の割合を調べた。

1997年3月には、コンブ繁茂域14地点 (S-1, 3, 5, 6, 8, 10, 11, 13, 15, 16, 18, 20, 22, 24), 磯焼け域3地点 (T-1, 2, 3) で、1996年と同様に海藻を採集したが、被度は調べられなかった。6月, 9月, 12月には、コンブ繁茂域と磯焼け域に、沖出し600mのトランセクト (Line-A, B) を設定し、50m間隔に設けた調

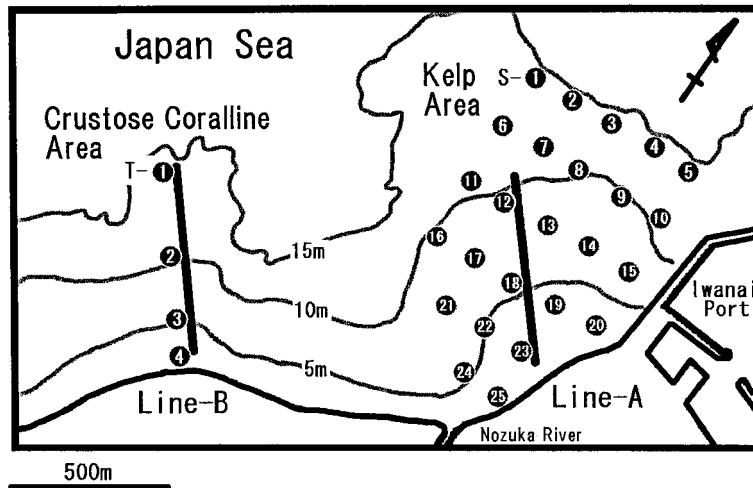


Fig.2 Map showing the sampling stations and transect lines. Line-A or S-12, 18, 23, T-3 : 1995. S-1~25, T-1~4: 1996, Line-A, B : 1997, S-12, 18, 23: 1998

査地点において1×1 mの方形枠を置き、枠内の海藻を採集した。また、目視により以下の5つに区分した底質の分布割合を記録した。

大転石 (Large boulder, 直径100cm<)

転石 (Boulder, 30~100cm)

玉石 (Cobble, 5~30cm)

小石 (Pebble, 0.5~5 cm)

砂 (Sand, <0.5cm)

エゾバフウニ *Strongylocentrotus intermedius* とキタムラサキウニ *S. nudus* は、水中においてダイバーがトランセクトの幅1 m以内に出現した個体を計数し、10 m毎に集計した。

1998年6月に、基質の大きさと海藻現存量との関係を明らかにするため、コンブ群落のS-12 (水深約10m)、S-18 (約6 m)、S-23 (約2 m) の3地点で、1×1 m方形枠をそれぞれ10枠、9枠、6枠置いて、枠内の石の長径と短径を測定し、石ごとに生育する海藻を採集した。そして、石の長径と短径から楕円の面積を算出し、1 cm<sup>2</sup>当たりの海藻現存量を算出した。

いずれの調査でも、採集した海藻は種を吉田ら<sup>9)</sup>に従って査定し、種類ごとに湿重量を測定した。調査時ごと及び調査期間を通じ、以下の種多様度指数<sup>10,11)</sup>を算出した。

$$d_1 = S / \log_{10} A \quad (\text{Gleason's index of diversity})$$

S: 種数, A: 面積

$$d_2 = (S_m - \bar{s}) / \log_{10} M \quad (\text{Dahl's index of diversity})$$

S<sub>m</sub>: M個の方形区内の種数,  $\bar{s}$ : 方形区当たりの平均種数

$$SID = 1 / \sum P_i^2 \quad (\text{Simpson's index of diversity})$$

$$H' = -\sum P_i \log_{10} P_i \quad (\text{Shannon-Wiener function})$$

P<sub>i</sub> (i=1, 2, 3, ..., s): 出現種の相対優占度

すなわち、d<sub>1</sub>は採集面積当たりの種数を、d<sub>2</sub>は採集枠

数当たりの出現種数の平均値からの偏差を、SIDは任意の種が異なる群に属する確率を、H'は出現種の情報量(任意の種が同一群に属する不確かさの程度)を示す。

なお、後志沿岸はホソメコンブ *Laminaria religiosa* が分布する海域<sup>12)</sup>であるが、本調査海域における2年目藻体がホソメコンブであるか論議があるため<sup>13,14)</sup>、本報告ではコンブ属の一種 (*Laminaria* sp.) とした。

## 結果

### 航空写真による植生分布

航空写真から判別した岩内沿岸の藻場分布を、Fig. 3に示した。岩内港西防波堤沖には年により変動はあるものの、いずれの調査年もほぼ同じ場所に約22~26haのコンブ群落が形成されていた。この場所は、沖側に張り出した緩やかな尾根状の地形であった。その南西方向の海域は、1989~1992年にかけては、コンブ等の大型海藻類が岸近くに限定され、沖側は広く無節サンゴモに覆われる、典型的な磯焼け状態を示した。

1995~1999年には、磯焼けが優占する海域の水深5~10mの範囲においてモザイク状に海藻類の繁茂が見られ、1996年以降、水深5~10m付近の比較的広い範囲でコンブが出現した。

コンブ群落の南側約300mには、延長8.5kmの二級河川である野東川の河口が位置し、1999年にはその付近に分布するフシスジモク *Sargassum confusum* を中心とするヒバマタ目褐藻の分布範囲が拡大した。野東川河口沖合の谷状の地形には砂が堆積し、コンブ群落の南西側の境界をなしていた。

### 海洋環境、底質分布

1989~1998年の泊村沖合における水深10m層の水温の

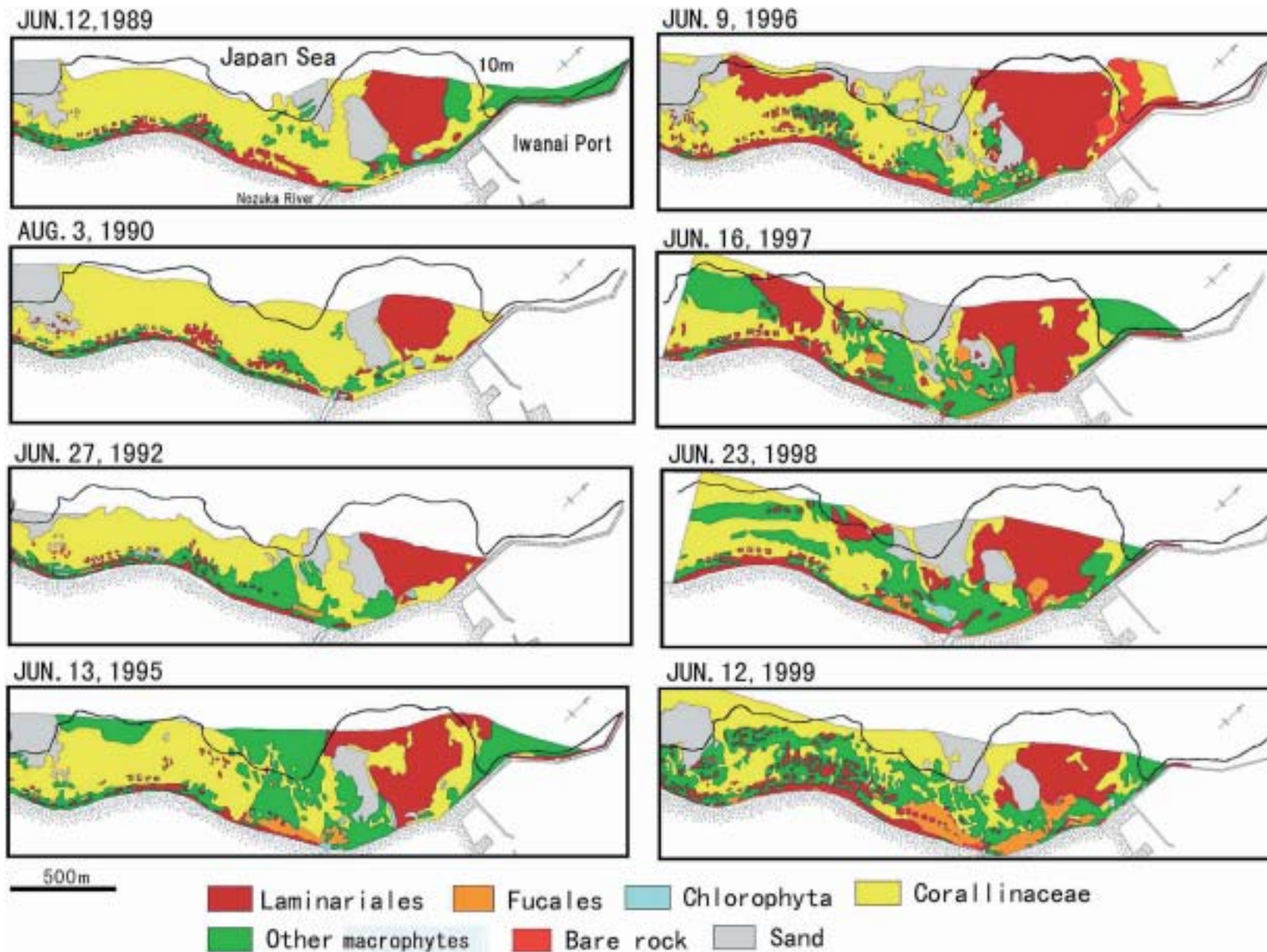


Fig.3 Maps showing yearly changes of marine benthic vegetation and bare substrata off Iwanai interpreted from color aerial photographs and 10<sup>m</sup> deep contour line.

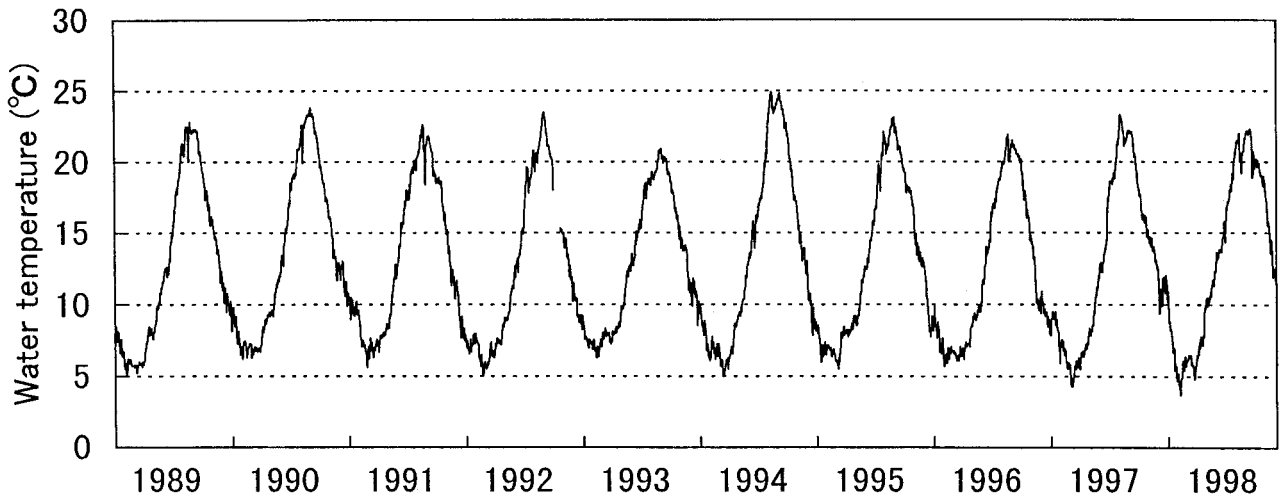


Fig.4 Annual change in daily average seawater temperature from 1989 to 1998 at the depth of 10m off Tomari.

推移を、Fig. 4に示した。水温は3.7~24.9°Cの範囲で推移し、概ね5~23°Cの範囲にあった。1997、1998年の日平均水温の最低値は5°C以下まで低下しており、この両年の冬季間は、それまでよりも低水温傾向にあった。

1995~1997年3~9月の調査海域における調査水深と無機栄養塩濃度の関係を、Fig. 5に示した。NO<sub>3</sub>-Nではコブ繁茂域で2.55 μM、磯焼け域で0.26 μM、NH<sub>4</sub>-Nではコブ繁茂域で4.58 μM、磯焼け域で0.91 μM、PO<sub>4</sub>-Pではコブ繁茂域で0.16 μM、磯焼け域で0.06 μM、SiO<sub>2</sub>-Siではコブ繁茂域で22.9 μM、磯焼け域で17.5 μMまでの範囲で変動した。特に水深5 m以浅では、コブ繁茂域が磯焼け域より栄養塩濃度が高い傾向が認められた。調査期間を通じたコブ繁茂域と磯焼け域の栄養塩濃度は、NO<sub>3</sub>-Nでのみ統計学的に有意な差が認められた (P<0.05)。

1995年6月及び9月に、コブ繁茂域に近い野東川における河口から約30m上流地点での栄養塩濃度は、NO<sub>3</sub>-N3.87~6.25、NH<sub>4</sub>-N48.63~74.90、PO<sub>4</sub>-P1.11~1.74、SiO<sub>2</sub>-Si173.9~211.3 μMの範囲にあり、いずれの項目も調査海域に比較すると高い値であった。

潜水調査時の観察では、コブ繁茂域の海中には綿状のフロックが見られることが多く、磯焼け域に比較すると明らかに透明度が低い場合が多かった。また、特に春~秋季にかけては、海岸線に沿って南西方向からの強い流れがあった。

1997年の Line-A と Line-B の海底勾配と底質の分布を、Fig. 6に示した。Line-Aは、水深3~9.8mの範囲にあり、起点から600mにかけて緩やかに傾斜しており、海底勾配は1.34/100であった。Line-Bは、水深1~12.7mの範囲にあり、起点から150mまではやや急傾斜で海底勾配は4.7/100、150mから600mまでは1.04/100であった。

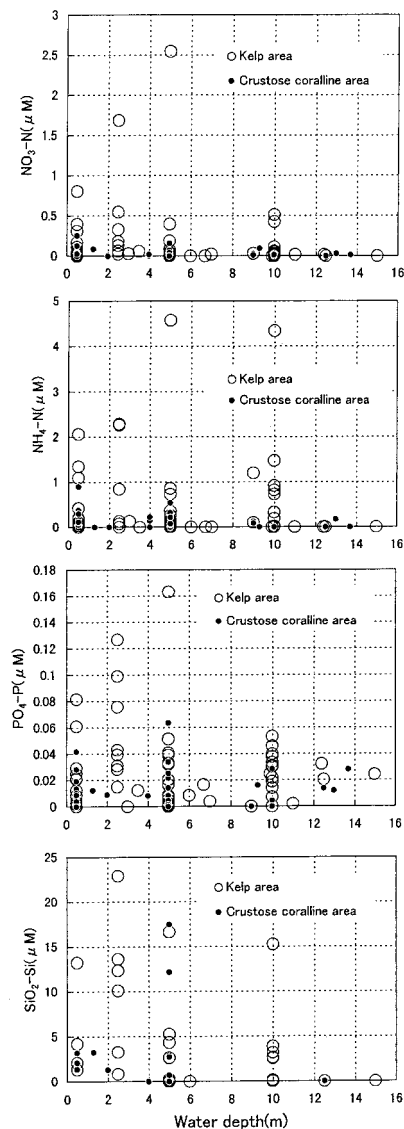


Fig.5 Dissolved inorganic nutrients in each different depth from March to September in 1995-1997 off Iwanai.

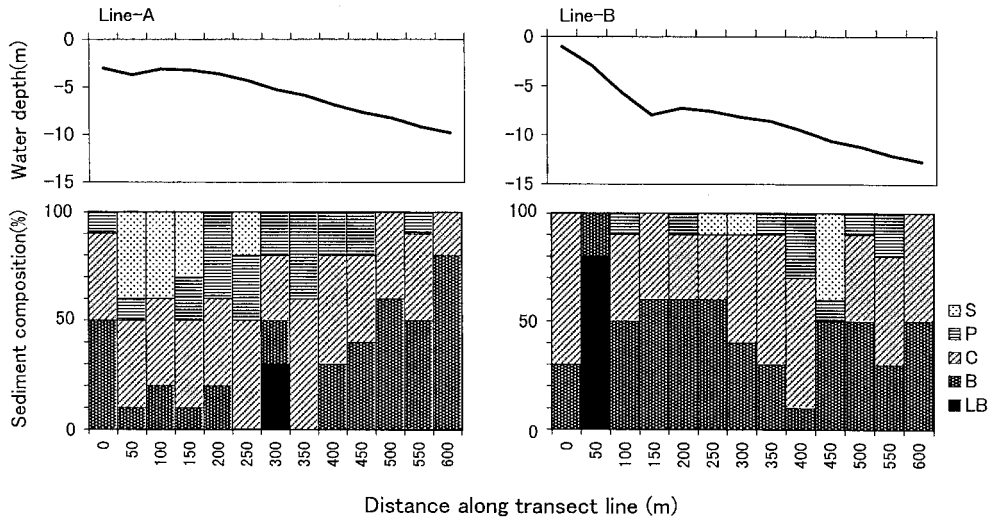


Fig.6 Sea bottom topography (upper) and sediment composition (lower) along the transect line-A and line-B in 1997 off Iwanai.  
 S : Sand (<0.5cm in diameter), P : Pebble (0.5-5cm), C : Cobble (5-30cm) B : Boulder (30-100cm), LB : Large boulder (100cm<)

底質は、いずれのラインも特に直径5~100cmの基質の占める割合が高く、Line-Aで50~100%、Line-Bで20~100%を占めた。Line-Aでは特に小石(直径0.5~5cm)の割合が高く0~40%、Line-Bでは転石(直径30~100cm)の割合が高く、10~60%を占めた。Line-Aの50~250m地点(水深3.7~4.3m)及びLine-Bの200~450m地点(水深7.3~11m)では、岩の上に薄く砂が堆積していた。

**出現海藻、海藻現存量、ウニ類密度の分布と季節変化**

コンブ繁茂域と磯焼け域において、調査期間中に確認したすべての海藻と出現頻度、ならびに種多様度指数を、Table 1に示した。調査期間を通じて、コンブ繁茂域で50種、磯焼け域で22種、調査海域全体で52種の海藻が出現した。出現種数は、4~6月にかけて多く、9~10月に減少し、12月に再び増加する傾向が認められた。

出現頻度が約10%以上の海藻は、コンブ繁茂域では、*Laminaria sp.*, ダルス *Palmaria palmata*, ケウルシグサ *Desmarestia viridis*, モロイトグサ *Polysiphonia morrowii*, フシスジモク, ハバモドキ *Punctaria latifolia*, スジメ *Costaria costata*, イギス *Ceramium kondoi*であり、磯焼け域では、*Laminaria sp.*, ケウルシグサ, アナメ *Agarum crathrum*, フクロノリ *Colpomenia sinuosa*, アミジグサ *Dictyota dichotoma*, モロイトグサであった。

種多様度指数は、Simpsonの多様度指数(SID)を除いて、いずれもコンブ繁茂域が磯焼け域よりも高い値であった。さらに、調査期間を通じた種の出現頻度と順位との関係を、Fig.7に示した。その結果、出現頻度の対数と順位には、コンブ繁茂域、磯焼け域ともに直線的関係が認められ、コンブ繁茂域の方が傾きが緩やかであ

り、種多様度が高いことを示した。

1996年4月、6月、ならびに10月のコンブ繁茂域(S-1~S-25)と磯焼け域(T-1~T-4)における海藻類の被度分布をFig.8に示した。コンブ繁茂域においてコンブの被度が40%以上の調査地点は、4月には7カ所(水深2.0~11.6m)、6月には9カ所(水深2.6~10.3m)、10月には3カ所(水深3.3~8.0m)と、春に増加し秋に減少する傾向を示した。特にS-13~15, S-21~23の水深3~10mの範囲での被度が高かった。水深14~15mのS-1, S-2においても、コンブの被度は5~30%の範囲にあった。磯焼け域におけるコンブの被度は、6月のT-2(水深10.3m)で50%であったが、それ以外は20%以下と低かった。

コンブ繁茂域での無節サンゴモの被度は、主にS-1~4, S-6, S-11, S-16のコンブ繁茂域外縁部で高く、特に水深9~18mで高かった。磯焼け域の無節サンゴモ被度は、4月には4カ所とも40%以上であったが、最も沖側のT-1(水深13.5~15.2m)を除いて、6, 10月には減少した。

コンブ繁茂域における裸岩の面積割合が40%以上の地点は、4月には14カ所(水深2.5~11.0m)、6月には16カ所(同2.6~11.1m)、10月には18カ所(同2.4~11.9m)と、季節を追うごとに増加した。裸岩の割合は特にS-7~23のコンブ繁茂域中心部で高い傾向が見られた。磯焼け域の裸岩面積の割合は、岸側のT-2~4で6~10月にかけて増加した。

1995年5月ならびに9月の、Line-A上の海藻現存量の分布を、Fig.9に示した。緑藻は、5月にアナアオサ *Ulva pertusa* とウスバアオノリ *Enteromorpha linza* の





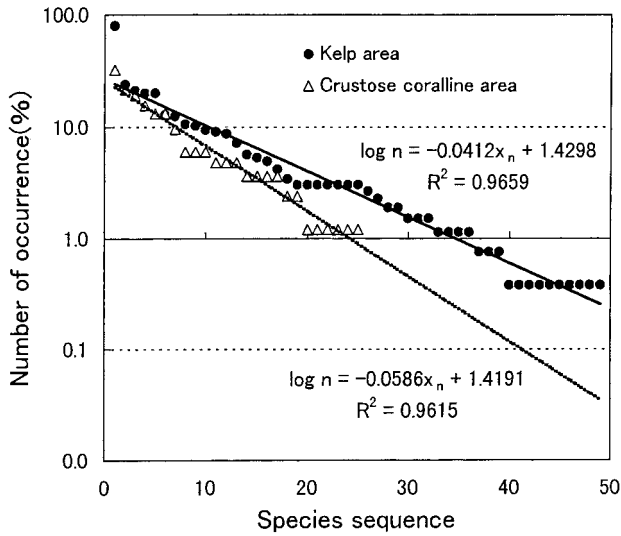


Fig.7 Sequence of species in descending order from 1995 to 1998 on the coast of Iwanai.

み, 水深2~7.1mの範囲に出現した。特にウスバアオノリは, 褐藻のハバモドキとともに, 水深5~7.1mで優占した群落を形成していた。海中での観察では, この場所は薄く砂が堆積する所に隣接する沖側に位置していた。*Laminaria* sp.は, 5月, 9月ともに調査した測線のほぼ全域で1年目藻体が発見し, 出現海藻中現存量が最も大きかった。5月には岸近くの水深2.5m地点で2340.6g/0.25m<sup>2</sup>の最大現存量を示し, 沖側の水深8.5m地点でも1344.3g/0.25m<sup>2</sup>と高い現存量を示した。9月には現存量は減少したが, 水深7.8m地点で1248.7g/0.25m<sup>2</sup>の最大現存量を示した。トランセクトには出現しなかったが, 3月, 5月, 6月, 9月とも, S-18(水深約5m)において2年目藻体を確認した。2年目藻体は, 同時期の1年目藻体に比較すると, 特に葉幅, 葉重量が大きく, 葉が厚く, 根の発達も顕著であり, 1年目藻体と明確に判別出来た。上記以外に5月に出現した褐藻は, 250m地点より陸側(水深5.5m以浅)で, スジメ, カヤモノリ *Scytosiphon lomentaria*, イシモズク *Sphaerotrichia divaricata*, ケウルシグサ, ミヤバモク *Sargassum miyabei* であったが, 9月にはハバモドキとフシスジモクが少量出現したのみであった。紅藻は5月には水深5.8m以浅で, モロイトグサ, イギス, ダルスが出現したが, 9月には水深3.7~4.9mでダルスがわずかに出現したのみであった。

1997年6月, 9月, 12月の, Line-AならびにLine-B上の海藻現存量(g湿重/0.25m<sup>2</sup>)とウニ類密度(個体数/10m<sup>2</sup>)の分布を,それぞれFig.10-1とFig.10-2に示した。海藻は, Line-Aにおいては, 1995年同様6月に緑藻のウスバアオノリとアナアオサが出現したが, その後は出現しなかった(Fig.10-1)。*Laminaria* sp.の1年目藻体は, トランセクトのほぼ全範囲に出現した

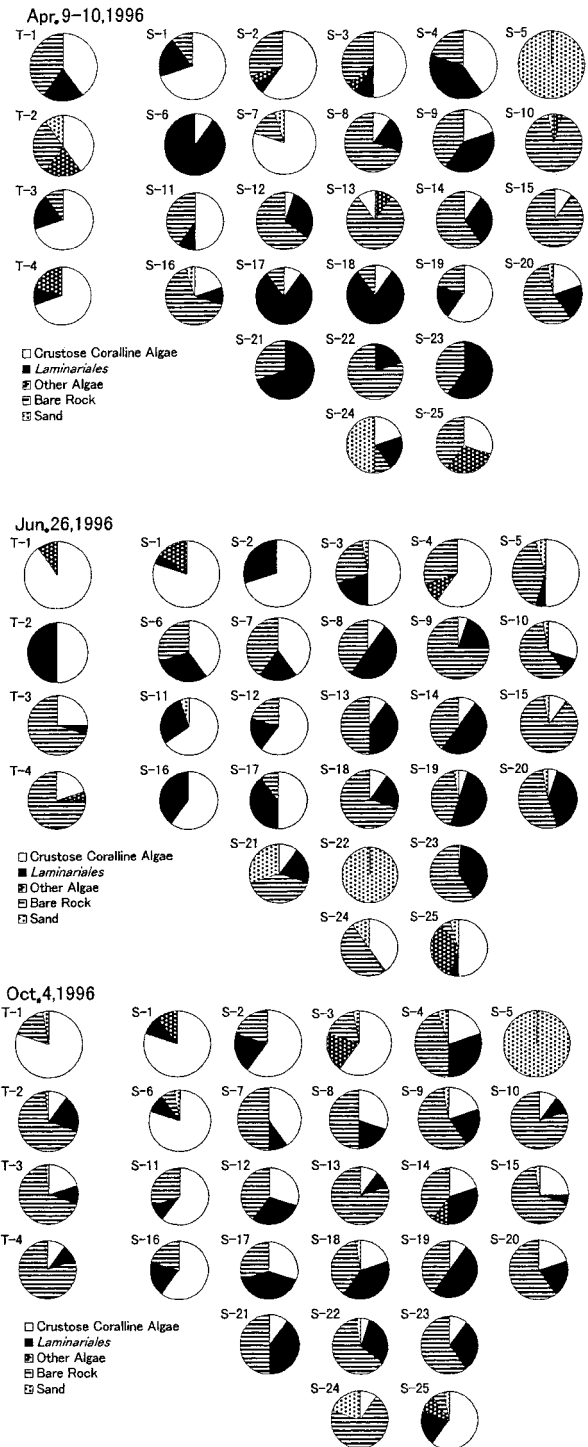


Fig.8 Seasonal changes of percent cover of algae and bare substrata in 1996.

が, 1995年に比較すると現存量は低かった。しかし, 季節を追うごとに現存量は増加し, 特に12月には, 葉体の再生により水深4m以深で1723.8g/0.25m<sup>2</sup>と, 高い現存量が見られた。1年目藻体の葉や根の再生は, 調査地全域で見られた。2年目藻体は, 6月に水深3.6m以深でのみ見られ, 9月には水深7m地点で1519.2g/0.25m<sup>2</sup>と, 最も高い現存量を示した。12月には藻体の枯死・



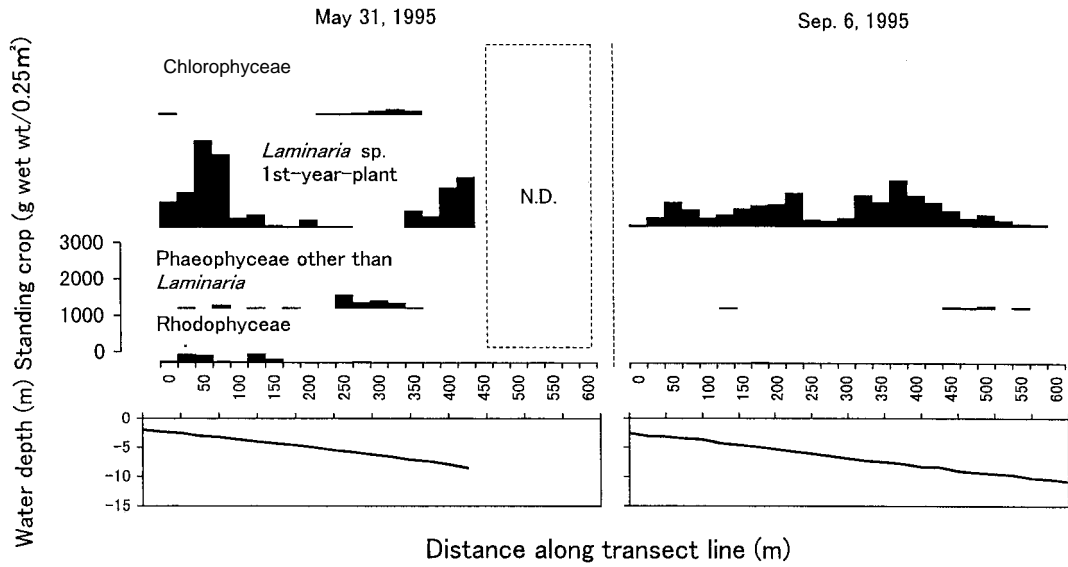


Fig.9 Seasonal changes of algal standing crop and water depth in 1995 along the transect line-A. N.D.: No data.

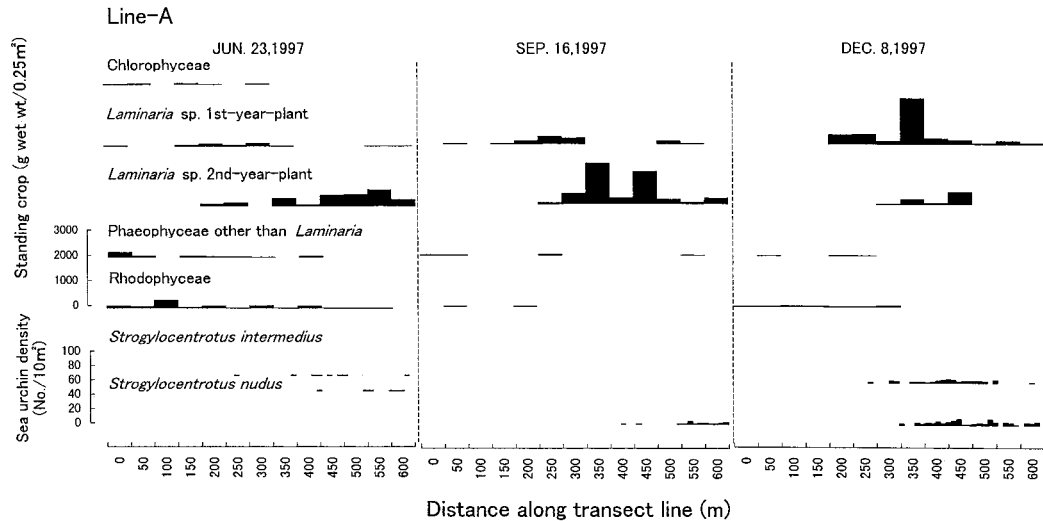


Fig.10-1 Seasonal changes of algal standing crop and sea urchin density in 1997 along the transect line-A.

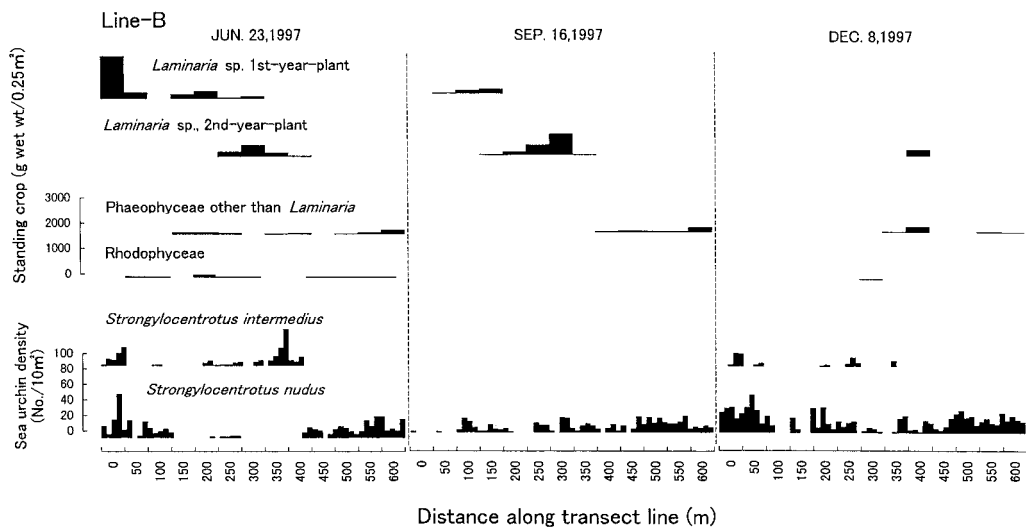


Fig.10-2 Seasonal changes of algal standing crop and sea urchin density in 1997 along the transect line-B.

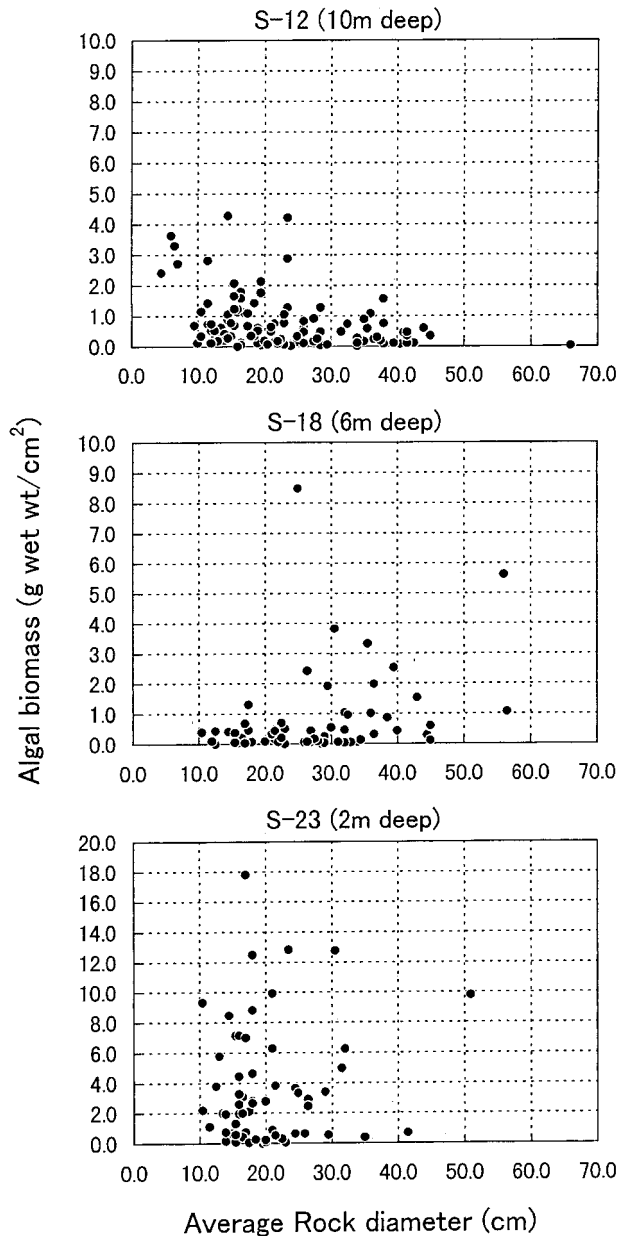


Fig.11 Relationships between average diameter of rocky substrata and algal biomass per substrata area at S-12, 18, 23 in June, 15, 1998.

流失により現存量は低くなり、分布も水深5.6~8.5mの範囲に限られた。*Laminaria* sp.以外の褐藻としては、水深3mでフシスジモクとウガノモク *Cystoseira hakodatensis*、水深約3.2mでハバモドキの現存量が比較的高かった。紅藻は、6月には水深3~9.2mの範囲で出現したが、9月には種数も現存量も減少し、12月に再びやや増加した。

一方、Line-Bにおいては、調査期間中緑藻は出現しなかった (Fig.10-2)。*Laminaria* sp.の1年目藻体は、水深1~8.2mの範囲に出現し、特に6月の水深1m地点では、2841.4g/0.25㎡と、高い現存量を示した。そ

の後、9月には現存量と範囲が減少し、12月には *Laminaria* sp.の1年目藻体は出現しなかった。2年目藻体は、水深約5~14.1mの範囲に出現し、Line-A同様、9月に現存量が高くなったが、12月には減少して水深9.1m地点で少量出現したのみであった。*Laminaria* sp.以外の褐藻は、水深7.7m以深でのみ見られ、現存量が高かった海藻は、6月の水深7.3~8m地点のケウルシグサ、6、9月の水深12.7~14.6m地点のアナメであった。紅藻は、Line-Aに比較すると種類数が少なく現存量も低かったが、6月には水深1~12.7mの範囲に出現し、特に水深7.3m地点でモロイトグサの現存量が比較的高かった。9月には水深2.1m地点でマクサ *Gelidium elegans* とイソムラサキ *Symphyclocladia latiuscula* が、12月には水深7.7、8.2m地点でモロイトグサが出現したのみであった。

ウニ類の密度は、Line-Aにおいては6月にはエゾバフンウニが水深4.3~9.8mの範囲で、キタムラサキウニが水深6.9~9.8mの範囲で1個体/10㎡程度と、非常に低かった。9月にはエゾバフンウニは出現せず、キタムラサキウニが水深7.7~10.4mの範囲で1~4個体/10㎡程度出現した。12月にはエゾバフンウニ、キタムラサキウニともに、沖側の密度がやや増加し、前者は水深5.1~10.3mで1~5個体/10㎡、後者は水深7.7~12.4mで1~8個体/10㎡出現した。

一方、Line-Bのウニ類密度は、Line-Aよりも顕著に高かった。6月にはエゾバフンウニが、水深1~9.5mの範囲に分布し、水深8.6m地点では最高55個体/10㎡出現した。キタムラサキウニは、水深1~12.7mの範囲で出現したが、特に岸近くの水深1~8mと沖側の水深9.5~12.7mで密度が高く、水深2.9mでは最高51個体/10㎡出現した。9月にはLine-A同様エゾバフンウニが出現しなかったが、キタムラサキウニの密度と分布は増加傾向を示し、水深16.8m地点で最高20個体/10㎡出現した。12月にはエゾバフンウニが水深2.8~8.2mの範囲で再び出現した。キタムラサキウニの密度は、12月には9月よりさらに増加し、特に水深2.8~7m、7.7~12.4mでの密度が高く、最高は水深5.5m地点の48個体/10㎡であった。

1998年6月15日のコンブ繁茂域S-12 (水深約10m)、S-18 (約6m) ならびにS-23 (約2m) 調査地点における、基質の直径と1cm²当たりの海藻現存量との関係を、Fig.11に示した。その結果、いずれの地点においても直径5~45cmの基質に生育する海藻がほとんどであった。単位面積当たりの海藻現存量は、最も浅所のS-23で高く、特に直径15~25cmの基質で高かった。S-18では、直径30~40cmの基質で海藻現存量が高い傾向が見ら

れた。S-12では、直径5~45cmの広い範囲で一様な現存量の分布を示したが、直径10~20cmでやや高い傾向が見られた。

## 考察

航空写真と潜水調査の結果、磯焼けが広範囲に持続する後志沿岸において、岩内港西防波堤沖合の水深約15mまでの約22~26haの範囲に、コンブ群落を経年的に形成されることが明らかになった。このような大規模なコンブ群落の分布は、神恵内村から岩内町にかけての積丹半島西海岸では、当地のみであることが報告されている<sup>15)</sup>。後志沿岸では、一般にコンブ等の大型海藻の分布が、水深4~5m以浅、多くは1~2m以浅に限られているが<sup>15,16)</sup>、本研究の結果から、後志沿岸においても水深15m程度までは *Laminaria* sp. が自生する場所があることが明らかになった。このような大規模なコンブ群落は、多量の胞子の供給源となるとともに、多量の流れ藻を生み出すなど、一次生産者として、重要な沿岸漁業資源のウニ類やエゾアワビなどの二次生産者を支えていると考えられる。

さらに、1989~1992年にかけて磯焼けが顕著であった海域において、1995年以降沖合にモザイク状にコンブ等の海藻の繁茂が観察された。特に1997、1998年の冬季は低水温が観測され、このような海洋環境の変化が、海藻繁茂範囲の拡大に寄与したと推察される。すなわち、冬季間の低水温は、コンブの初期成長を助長し<sup>17)</sup>、キタムラサキウニの摂食圧を引き下げ<sup>18)</sup>、コンブの生存率を高めたと考えられる。

調査海域の無機栄養塩類の濃度を調べたところ、いずれもコンブ繁茂域の、特に水深5m以浅で高い濃度が見られ、NO<sub>3</sub>-Nで磯焼け域と有意差が見られた。コンブ繁茂域近傍には野東川が流入しており、野東川の無機栄養塩類濃度は海域に比較してかなり高く、海域で見られた比較的高い栄養塩濃度は、陸域からの影響である可能性が高い。また、海中にフロックが見られ、透明度が低い場合が多かったことも、陸域からの影響を示唆する。特に無機態窒素と磷酸塩は、海藻類の生育に必要な栄養塩である。北海道北部のリシリコンブでは、海域の栄養塩が枯渇する時期にこれらの栄養塩類を施肥したところ、藻体が大型化したことが報告されている<sup>19)</sup>。陸域からの無機栄養塩類の供給により、当地の天然コンブ礁の生産力が高められていることが示唆された。

岩内港西防波堤沖合は、変化の少ない、緩やかな海底勾配で、沖側に張り出す尾根状の地形であった。底質もほぼ全域にわたって、直径5~100cmの玉石~転石が占めていた。このような変化の少ない海底地形、ほぼ一様

な基質の条件が、単一種の広い範囲での優占を可能とした一因と推察される。

コンブ繁茂域は磯焼け域に比較すると、種多様度が高い傾向がみられた。SIDのみ低かったのは、この指数が「少数の種による独占的傾向が強いほど小さくなる性質がある」<sup>10)</sup>ことから、コンブ繁茂域では、調査期間を通じたコンブの出現頻度が80.5%と非常に高く、独占的傾向が強かったことによると考えられる。

コンブ繁茂域でのコンブの被度は、6月に最大40%以上となり、10月には減少した。これは、*Laminaria* sp. の現存量の季節変化に対応していると考えられる。一方、無節サンゴモの被度は、コンブ繁茂域外縁部の水深9~18mの深所で高かったが、季節変化は明確ではなかった。裸岩面積割合は、コンブ繁茂域、磯焼け域ともに、季節を追うごとに割合が増加した。これは主に、秋に向かって海藻類が枯死、流失したこと、基質の反転などによる付着海藻の剥離によると考えられる。さらに、冬季には、強い波浪の影響により、さらに多くの裸地が形成されると推測される。

コンブ繁茂域において現存量が高く、最も広い水深範囲で出現した海藻は、*Laminaria* sp. であった。1年目藻体は葉体の再生により、12月に水深4m以深で現存量が増加した。2年目藻体は主に水深4m以深に分布し、9月には現存量が最大となった。倉上<sup>13)</sup>は、1925~1926年に当地のコンブを調べたところ、1年目藻体と2年目藻体を確認しており、いずれもホソメコンブであるとした。その後、長谷川<sup>14)</sup>が1953~1954年に当地のコンブの潜水調査を実施し、「明らかにリシリコンブ系、ホソメコンブ系が棲み分けをしており、両群を区別することができる」とし、1年目藻体をホソメコンブ系、2年目藻体をリシリコンブ系としたと推察される。このように、過去の調査でも当地に2年目藻体が分布することが知られていたが、それがホソメコンブか、リシリコンブ *L. ochotensis* であるかの統一した見解は得られていない。本研究では、2年目藻体は主に水深約4m以深の深所に分布したが、6月にはより浅みにも見られ、10~12月には調査地全域で1年目葉体の再生が見られたことから、長谷川<sup>14)</sup>の記述したリシリコンブ系とホソメコンブ系の明確な棲み分けは見られず、同一種であることが示唆されたが、今後さらに遺伝学的検討などが必要であろう。

一方、磯焼け域においても *Laminaria* sp. の現存量はコンブ繁茂域と同様の季節変化を示したが、12月には1年目藻体は出現せず、2年目藻体もごく一部で出現したのみであった。これは、主にウニ類の摂食により消失したと考えられる。

1997年の6~12月の調査結果では、ウニ類の分布密度は、調査期間を通じてコンブ繁茂域に比較して磯焼け域の方が顕著に高かった。コンブ繁茂域、磯焼け域ともに6~12月にかけて、特にキタムラサキウニの密度が増加する傾向が見られた。12月のコンブ等の海藻が発芽する時期にウニ類密度が増加し、海藻の幼芽がウニ類の摂食を受けることにより、その後の群落形成が阻害され、当海域においてウニ類と無節サンゴモが優占する磯焼けが持続する一因と推察される。このように、磯焼け域の相対的に高いウニ密度が、コンブの消失を招き、磯焼けを持続させていると考えられる。なお、Line-A, Line-Bともに9月にエゾバフンウニが出現しなかったのは、漁獲による影響が大きいと推察される。

コンブ以外の海藻類の現存量は、コンブに比較すると秋季に大きく減少する傾向が見られた。磯焼け域では、コンブ繁茂域に比べると海藻の種類数が少なく現存量も低かったが、褐藻のケウルシグサ、アナメ、フクロノリ、アミジグサ、紅藻のモロイトグサなどが比較的多く出現した。特にケウルシグサ、アナメ、アミジグサ、モロイトグサは、植食動物の摂餌阻害物質を含む海藻と考えられ<sup>6, 20, 21)</sup>、磯焼け域に特徴的な海藻であった。

コンブ繁茂域における海藻現存量と付着基質の大きさとの関係を見ると、水深2, 6, 10mともに直径5~45cmの比較的小さい基質に海藻類が着生していた。本調査海域では、底質は主に直径5~100cmの石であったが、今回の調査結果からは、コンブの現存量の高い石は、より直径の小さいものであった。このことから、コンブの最大現存量を維持する基質の大きさが示唆される。その他、基質の組み合わせや安定性も関係すると考えられ、波浪の影響との関係も含めて、着生基質とコンブ群落形成の関係をもさらに明らかにする必要がある。なお、水深2mでの現存量が他の水深に比較して高かったことは、この水深での利用出来る光量がより大きいことや、河川水から及び強い波浪の流れに起因する栄養塩の添加効果による生産力の向上が考えられる。

コンブ繁茂域の地形は、緩やかな尾根状で変化が少なく、沖に向かって張り出していた。このような場所では、波が収束し、近隣の海域よりも波当たりが強くなる<sup>22)</sup>。さらに、海岸線が北西方向に面しているため、冬季の強い季節風に直接さらされ、一層波当たりが強い場所であった。特にこの波浪による物理的攪乱により、岩上の多くの肉眼的付着生物は除去されて多くの裸地が形成されると考えられる。物理的攪乱としては、主に波浪に起因する基質の反転、移動、砂の移動や漂砂の影響、海藻の物理的剥離などが考えられる。

このような場所でコンブが優占するには、以下のよう

なコンブの生活史戦略が関係していると考えられる。すなわち、秋から冬にかけて盛んに放出される多量のコンブ胞子は、物理的攪乱によって形成された裸地に定着し、顕微鏡的な配偶体として岩上に生き残り、その後、冬から春にかけては、受精した配偶体から孢子体が形成され、葉体を急速に伸長させて光をめぐる競争において優位に立ち、他の海藻類の生育を圧倒する。

コンブ群落の形成や維持においては、このような物理的攪乱がきわめて重要な役割を果たしていると考えられる。北海道のコンブ漁場で古くから行われている基質投入では、当初はコンブが高密度に繁茂するが、年数が経過するほどより多年生の海藻類に遷移していく事例がよく知られており<sup>7)</sup>、このような場所は、相対的に物理的攪乱が弱い安定した環境と考えられる。Sousa<sup>23)</sup>が南カリフォルニアの潮間帯の転石地帯で、基質の安定性と海藻群落の種組成との関係を調べたところ、中規模な頻度の攪乱を受ける転石が、最も多様な種組成を示した。さらに、基質のサイズより攪乱を受ける頻度が重要であるとした。Connell<sup>24)</sup>は、熱帯雨林やサンゴ礁の生物群集において、中規模レベルの攪乱の時に最も高い多様性が維持されるという、中規模攪乱仮説 (the intermediate disturbance hypothesis) を提唱した。コンブ群落が形成、維持される場所には、コンブにとって「適度な」攪乱が働いていると考えられる。すでに物理的攪乱を考慮した、藻場やアワビの造成礁も提案されている<sup>25)</sup>。コンブ漁場の造成や維持においては、そこに働く物理的攪乱をよく検討する必要がある。

波浪による強い水流や基質の反転、移動<sup>22)</sup>、砂の移動や漂砂の影響などはまた、ウニ類の活動や分布を制限する効果があると考えられる。さらに、野東川河口沖合に分布する砂は、コンブ繁茂域の南西方向からのウニ類の移入を制限していると考えられる。これらのことから、当地のコンブ繁茂域の低いウニ密度が維持されていると推察される。

以上のように、岩内沿岸に局部的に成立する天然コンブ礁は、「適度な」物理的攪乱に曝される環境によって維持されており、さらに陸域からの無機栄養塩類の供給により海藻類の生産力が高められていると考えられた。今後は、物理的攪乱の定量的評価とコンブ群落の形成や維持との関係を明らかにすることが課題である。

## 要約

広い範囲で磯焼けが持続する後志沿岸において、例外的に岩内港西防波堤沖に大規模な天然コンブ礁が形成されている状況を、1989~1999年にかけて航空写真と潜水調査により調べ、以下の結果を得、コンブ群落の形成、

維持要因を考察した。

1. 岩内港西防波堤沖の約25haの範囲にコンブ群落が経年的に形成されていることが確認され、後志沿岸においても、水深15m程度までは *Laminaria* sp.の自生が明らかになった。
2. 1995年以降、特に1997、1998年の冬季は低水温が観測され、海藻繁茂範囲の拡大に寄与したと考えられた。
3. コンブ繁茂域の特に5m以浅では、時に高い無機栄養塩類濃度が見られ、陸域からの影響により天然コンブ礁の生産力が高められていることが示唆された。
4. 天然コンブ礁の緩やかな海底勾配、主に直径5~100cmの玉石~転石からなる様な基質の条件が、広い範囲での *Laminaria* sp.の優占を可能にした一因と考えられた。
5. コンブ繁茂域の植生は、磯焼け域に比較して、種多様度が高かった。
6. 調査海域の水深4~5m以深には、多数の *Laminaria* sp.の2年目藻体が出現した。
7. コンブ繁茂域は沖側に張り出した緩やかな尾根状の地形で、波浪による物理的攪乱により多くの裸地が形成され、*Laminaria* sp.の入植と優占が促進されると考えられた。
8. コンブ繁茂域のウニ類密度は、磯焼け域に比較して低く維持されており、これには基質の不安定さや砂の影響などの物理的攪乱が関係していると推察された。
- 4) 吾妻行雄, 松山恵二, 中多章文, 川井唯史, 西川信良: 北海道日本海沿岸のサンゴモ平原におけるウニ除去後の海藻群落の遷移. 日水誌. 63(5), 672-680 (1997)
- 5) 名畑進一, 干川 裕, 酒井勇一, 船岡輝幸, 大堀忠志, 今村琢磨: キタムラサキウニに対する数種海藻の餌料価値. 北水試研報. 54, 33-40 (1999)
- 6) 浮 永久: エゾアワビに対するコンブ目海藻の餌料価値. 東北水研研報, 42, 19-29 (1981)
- 7) 船野 隆, 石川政雄: 伊達市北黄金沿岸のコンクリートブロックコンブ漁場 コンブ着生基質としての耐用年数について. 北水試月報, 24(9), 332-339 (1967)
- 8) 赤池章一, 吉田秀嗣, 松田泰平, 八木宏樹, 富山 優: 北海道積丹半島西岸における大型海藻と無節サンゴモ群落の分布面積の年変動. 北水試研報. 56, 125-134 (1999)
- 9) 吉田忠生, 吉永一男, 中嶋 泰: 日本産海藻目録(1995年改訂版). 藻類. 43, 115-171 (1995)
- 10) 伊藤秀三, 宮田逸夫: “群集の多様性”. 群落の組成と構造. 東京, 朝倉書店, 1977, 83-111.
- 11) 木元新作: “群集パラメータと多様度指数”. 群集生態学入門. 東京, 共立出版, 1989, 123-151.
- 12) 川嶋昭二: 日本産コンブ類図鑑. 札幌, 北日本海洋センター, 1989, 215p.
- 13) 倉上正幹: ホソメコンブ調査復命書. 1-16 (1925)
- 14) 長谷川由雄: コンブに関する二、三の知見(I). 北水試月報. 15(5), 223-228 (1958)
- 15) 赤池章一: 積丹半島西岸の藻場と磯焼けの現状—航空写真と潜水調査による解析—1986~1998. 原子力環境センター試験研究. 6, 119 (2000)
- 16) 阿部英治, 名畑進一, 垣内政宏: ホソメコンブの群落形成が阻害される原因についての一考察. 北水試研報. 35, 37-60 (1990)
- 17) 飯泉 仁: 磯焼け発生予測技術の総合的開発. 磯焼け発生機構の解明と予測技術の開発. 農林水産省農林水産技術会議事務局. 98-103 (1997)
- 18) 吾妻行雄, 松山恵二, 中多章文: 北海道忍路湾におけるキタムラサキウニの摂食活動の季節変化. 日水誌. 62, 592-597 (1996)
- 19) 赤池章一, 菊地和夫, 門間春博, 野澤 靖: 1年目リシリコンブ胞子体の生長に及ぼす窒素, リン施肥の影響. 水産増殖. 46(1), 57-65 (1998)
- 20) Lüning, K.: “Protection Against Grazing” Seaweeds. Their Environment, Biogeography, and Ecophysiology. New York, John Wiley and

## 謝 辞

本研究は、北海道原子力環境センターの磯焼け現象解明調査の一環として行われた。北海道環境生活部、原子力環境センターの関係各位には、多くの助言と協力を頂いた。本稿をまとめるにあたり、東北大学大学院農学研究科の吾妻行雄博士には、助言と原稿の校閲を賜った。現地調査に際しては、岩内郡漁業協同組合、岩内町、後志南部地区水産技術普及指導所の協力を頂いた。厚く御礼申し上げる。

## 文 献

- 1) 正置富太郎, 秋岡英承: 北海道における磯焼けの現状について. 育てる漁業研究会. 4-19 (1980)
- 2) 松山恵二: 北海道の磯焼け対策. 育てる漁業, 217, 2-12 (1991)
- 3) 吾妻行雄: 北海道日本海南西部沿岸の磯焼け. 北水試だより. 31, 3-9(1995)

Sons, Inc. 1990, 351-352.

- 21) 白石一成, 谷口和也, 蔵田一哉, 鈴木 稔: 褐藻エゾヤハズのメタノール抽出物によるキタムラサキウニとエゾアワビに対する摂食阻害作用. 日水誌. 57 (10), 1945-1948 (1991)
- 22) 桑原久実, 赤池章一, 林久 哲, 山下俊彦: 磯焼け地帯における海藻群落の生育要因に関する研究. 海岸工学論文集. 44, 1181-1185 (1997)
- 23) Sousa, W. P.: Disturbance in marine intertidal boulder fields: the nonequilibrium maintenance of species diversity. *Ecology*. 60 (6), 1225-1239 (1979)
- 24) Connell, J. H.: Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*. 199, 1302-1310 (1978)
- 25) 川俣 茂: 磯根漁場造成における物理的攪乱の重要性. 水産工学. 31(2), 103-110 (1994)