

## アマモ場の景観構造を考慮した内在性ベントスの群集構造の解明

Whanpetch Napakhwan<sup>1</sup>・渡辺健太郎<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 千葉大学大学院理学研究科

### 1. 序章

厚岸湖および厚岸湾にも見られるアマモ場には、生産性、生物多様性の高い動植物群集が形成される。特に、底質内に生息する内在性ベントス群集は、アマモ植生内の方が植生外（無植生部）より種多様性や生物量が高いことが知られている（Hemminga and Duarte 2000）。しかしアマモ植生がベントス群集に与える効果の大きさは研究例により大きく異なっている。その原因の1つとして、アマモ植生の空間的異質性（パッチの大きさや形、連続性など。以下、「景観構造」と呼ぶ）が、アマモ場により異なることが考えられる（Robbins and Bell 1994, 2000）。

アマモの空間構造の把握に対して、リモートセンシング解析が近年盛んになりつつある（山北ら 2005）。しかし既存の航空写真や衛星画像は小さい空間スケールでのアマモの空間異質性を捉えるには解像度が低すぎる場合が多い。この問題に対しては、カイト（凧）、無人ヘリコプター、無人観測気球などを用いた低高度からの詳細な画像撮影によるリモートセンシング方法が有効である（吉田ら 2007）。一方、内在性ベントスに対するアマモ植生の空間構造を解析するためには、ベントスの採集地点を植生の有無のみで決めるのではなく、パッチやギャップの空間配置を考慮して決定することによりアプローチできると考えられる。

本研究では、アマモ場のリモートセンシング解析と現地調査を統合的に利用することにより、アマモ植生の景観構造が内在性ベントスの群集構造に与える影響を解明することを目的とする。まず、無人気球を用いて厚岸湖および厚岸湾のアマモ場の空間構造の把握の可能性を検討した。次に、上記で把握したアマモ植生の空間異質性を考慮した採集デザインにより内在性ベントス群集の採集を行い、その量と多様性の変異を解析した。

### 2. 材料と方法

#### 2-1. 調査地（図1）

厚岸湖北部の神岩および厚岸湾東部のアイニンカップにおいてアマモ場の景観構造を気球撮影装置を用いて撮影すると共に、神岩においてベントスの採集をおこなった。

#### 2-2. 方法

##### 2-2-1. アマモ場の景観構造

2008年8月に神岩において、2009年1月にアイニンカップにおいてアマモ場の撮影を上空よりおこなった。撮影には、デジタルカメラを取り付けた気球（長菱設計会社(株)製 スカイキャッチャー）を使用した。

##### 2-2-2. 内在性ベントスの群集構造

内在性ベントスの採集は2008年8月干潮時に神岩にておこなった。まずアマモ場の景観構造の結果をもとに、植生タイプをアマモ植生地 (*Zostera marina*)、コアマモ植生地 (*Z. japonica*)、無植生地 (Unvegetation) にわけ、さらに各植生地内の位置を中心部（植生の縁から1m以上内側の領域）と縁

辺部（植生の縁から 1m 以内の部分）に分類した。植生タイプと位置の組み合わせ（6 種類）のそれぞれから 5 地点ずつ、合計 30 地点で採集をおこなった。採集にはポリ塩化ビニル製のコア（直径 15cm）を用い、深さ 10cm まで底質に挿入し採集をおこなった。採集したサンプルはその場で 0.5mm メッシュの篩にかけ、残ったサンプルを 10% 中性ホルマリン海水で固定した後、実験室に持ち帰った。持ち帰った動物サンプルはソーティング後、既存の情報で可能な分類群のレベルまで同定をおこない、各分類群について個体数を計数し、密度を算出した。またコアに入った海草サンプルはオープンで乾燥後（80℃、24 時間）、重量を測定し、アマモの現存量を求めた。

またコアによる採集をおこなったすぐ横で底質分析用に底質（各 300g）も採集した。持ち帰った試料は、110℃で乾燥させ、0.5、0.25、0.125、0.063 mm メッシュの篩にかけ粒度組成を求めた。0.063 mm メッシュの篩を通過した分画を泥とし、含泥率（63 μm 以下の分画の重量 / 総乾燥重量）を求めた

### 2-3. 解析

植生タイプおよび位置間の、海草の景観構造、底質および内在性ベントス群集の変異を明らかにするため、海草の現存量、底質の含泥率、および内在性ベントスの個体密度、出現分類群数、多様度指数（Simpson の多様度指数  $D = 1 - \sum p_i^2$   $p_i$  は分類群  $i$  の相対優占度を示す）を、植生タイプおよび位置を固定因子とした 2-way ANOVA により解析した。有意差が検出された場合は、事後検定として **Turkey** の多重比較検定を行った。解析には SPSS 12.0J for Windows (SPSS Inc.)を使用した。

## 3. 結果

### 3-1. アマモ場の景観構造

#### 3-1-1. 神岩

無人観測気球を用いて、高度 50~200m でアマモ場の空中撮影をおこなった結果、潮間帯の部分において、アマモ、コアマモ、無植生地がパッチ状に点在した複雑な景観構造を示すことが判明した（図 2）。なお、本調査地には、アマモ類に混じって、潮汐によって運ばれてきたと思われる緑藻類が堆積していた。空中撮影した画像では、アマモ類が濃緑色であるのに対し、緑藻類は淡緑色を呈しており、両者を識別することができることが判明した。

#### 3-1-2. アイニンカップ

アマモ類の分布は浅いところは連続的であったが、水深と共にオオアマモの分布がパッチ状になることが判明した（図 3）。また、離岸堤などの人工物の周辺ではアマモ類が途切れることも明らかになった。

### 3-2. 内在性ベントスの群集構造

#### 3-2-1. 海草の現存量

海草の現存量は、コアマモ植生地で平均 52.1 g DW / m<sup>2</sup>、アマモ植生地で平均 131.9 g DW / m<sup>2</sup> であり、アマモ植生地で有意に高かった（表 1）。しかし中心部と縁辺部では差は見られず、また交互作用も検出されなかった（図 4、表 1）。

#### 3-2-2. 含泥率

含泥率はすべての植生地タイプおよび位置で 68.5% 程度であり、植生タイプ間や位置間で差は見られなかった（図 5、表 2）。

#### 3-2-3. 内在性ベントス

総個体数 5766 のベントスが採集され、24 の低次分類群に分けられた。イトゴカイ科 (Capitellidae) やゴカイ科 (Nereididae) をはじめとする多毛綱 (Polychaeta) が優占していたが、コアモ植生やアマモ植生ではヨコエビ亜目などの端脚目 (Amphipoda) や、ホソウミニナが比較的多く出現した。

内在性ベントス群集の個体密度、出現分類群数は、植生タイプ、パッチ内の位置の違いによる大きな変異はなかった (図 6,7、表 3a, b)。分散分析においても、植生タイプ間、位置間に有意差はみられず、交互作用も有意ではなかった (Table 3a, b)。一方、多様度指数は植生タイプによって異なり、アマモ植生地の方が無植生地よりも有意に高かった (図 8、表 3c)。

#### 4. 考察

無人観測気球による高度 20~200m という低高度からの空中写真の撮影により、アマモ場の空間分布を高解像度で捉えられることが明らかになった。調査地とした神岩、アイニンカップでは環境条件や種構成が異なるものの、アマモ場はギャップ (無植生地) や海藻類のパッチを含む複雑な空間構造を共に示す。これは他地域におけるアマモ場でも報告されている一般的な傾向である (山北ら 2005, 吉田ら 2007)。一般に、アマモ類を含む沿岸植生は、好適な環境では連続的な分布、攪乱やストレスの高い場所ではパッチ状の分布を示す (Robbins and Bell 2000)。神岩の潮間帯部分、およびアイニンカップの深い部分では、アマモ類の植生はパッチ状の分布を示したが、前者においては干出に伴うストレスや冬季の氷結、後者においては水深と共に減衰する光量の低下がそれぞれ関与していると思われる。

一般に、アマモ植生の空間異質性は、内在性ベントスの量および多様性に大きな影響を与える (Nakaoka 2005, Tanner 2005)。例えば、タイにおける先行研究では、同じタイプの植生地でもパッチ内の位置によってベントスの量と多様性が異なることが報告されている (Nakaoka 2001)。また東京湾の富津干潟における研究でも同様の傾向が見られる (Napakhwan et al. 未発表)。しかし厚岸湖における本研究の結果では、これらと異なり、パッチ内の位置によって内在性ベントスの群集構造は変化しなかった。その直接的な理由として、植生タイプ間、位置間で、含泥率に代表されるような底質の特性に差異が見られないことが挙げられる。今回対象域とした厚岸湖の潮間帯のアマモ場は、毎年冬に氷結による攪乱が起こるため、その空間構造は毎年大きく変化することが予想される。そのため内在性ベントスにとっての環境が植生タイプ間やパッチ内位置間によって大きく変化しない可能性がある。この点については、アマモ類の空間分布および内在性ベントスの群集構造の経年変化を追跡することにより検証することが可能であろう。

#### 5. 謝辞

本研究は 2008 年度厚岸湖・別寒辺牛湿原学術研究奨励補助金の補助を受けておこなわれた。また北海道大学北方生物圏フィールド科学センター厚岸臨海実験所の仲岡雅裕教授には本研究のご指導を受けた。研究を進めるにあたり北海道大学北方生物圏フィールド科学センター厚岸臨海実験所の施設を利用させていただき、また職員・技官の方々に大変お世話になった。また千葉大学大学院理学研究科群集生態学研究室の皆様には調査を手伝って頂いた。ここに厚く御礼申し上げます。

#### 6. 文献

Nakaoka, M. (2005) Plant-animal interactions in seagrass beds: ongoing and future challenges for understanding population and community dynamics. *Population Ecology* 47: 167-177

- Nakaoka, M. (2001) Small-scale variation in a benthic community at an intertidal flat in Thailand: effects of spatial heterogeneity of seagrass vegetation *Benthos Research* **56**: 63-71
- 山北剛久・仲岡雅裕・近藤昭彦・石井光廣・庄司泰雅 (2005) 東京湾富津干潟における海草藻場の長期空間動態. 保全生態学研究 **10**: 129-138
- 吉田正人・河内直子・仲岡雅裕 (2007) 市民参加型モニタリングとリモートセンシングとの統合的利用による海草藻場の空間動態の解析. 保全生態学研究 **12**: 10-19
- Hemminga MA, Duarte CM (2000) Seagrass ecology. Cambridge University Press, Cambridge
- Robbins BD, Bell SS (1994) Seagrass landscapes: a terrestrial approach to the marine subtidal environment. *Trends Ecol Evol* 9: 301-304
- Robbins BD, Bell SS (2000) Dynamics of a subtidal seagrass landscape: seasonal and annual change in relation to water depth. *Ecology* 81: 1193-1205
- Tanner JE (2005) Edge effects on fauna in fragmented seagrass meadows. *Aust Ecol* 30: 210-218

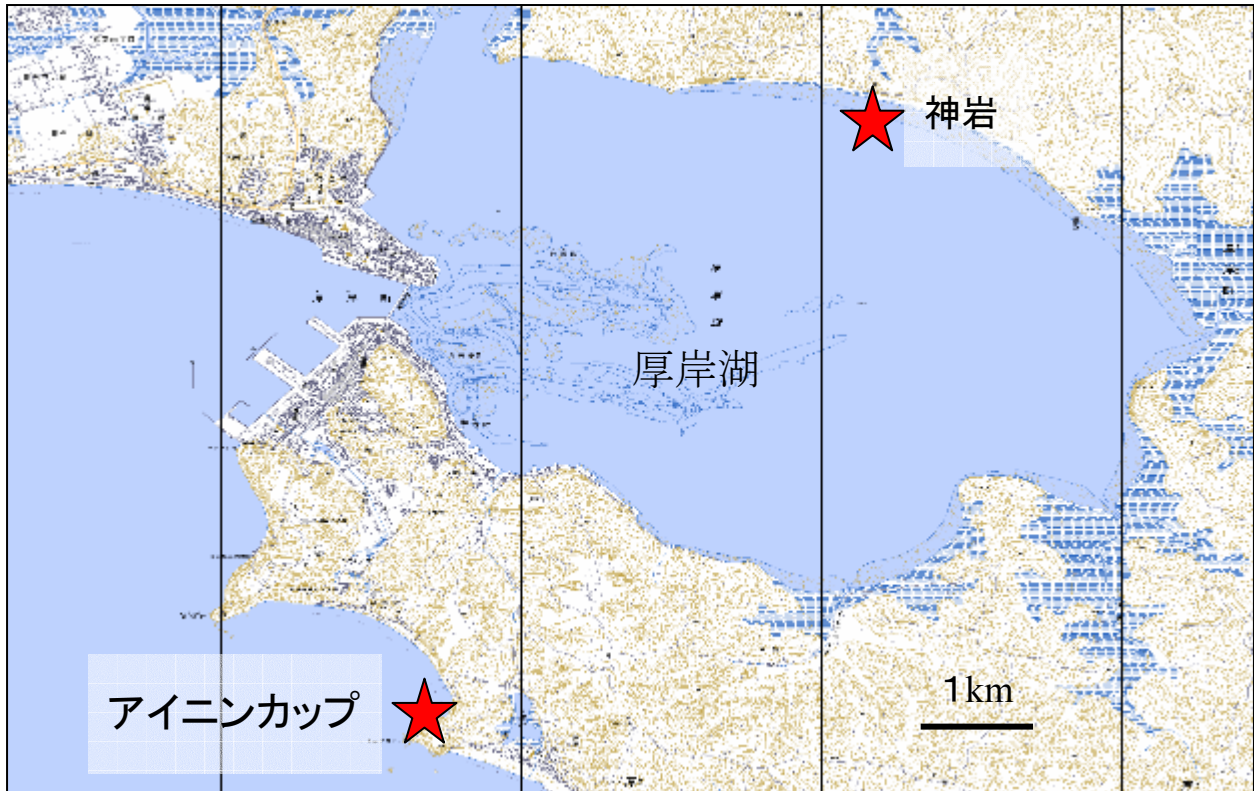


図 1. 調査位置図。厚岸湖神岩で気球による撮影およびベントスの採集、厚岸湾アイニンカップで気球による撮影をおこなった。

Study sites at Akkeshi-ko estuary and Akkeshi Bay located in eastern Hokkaido, Japan.

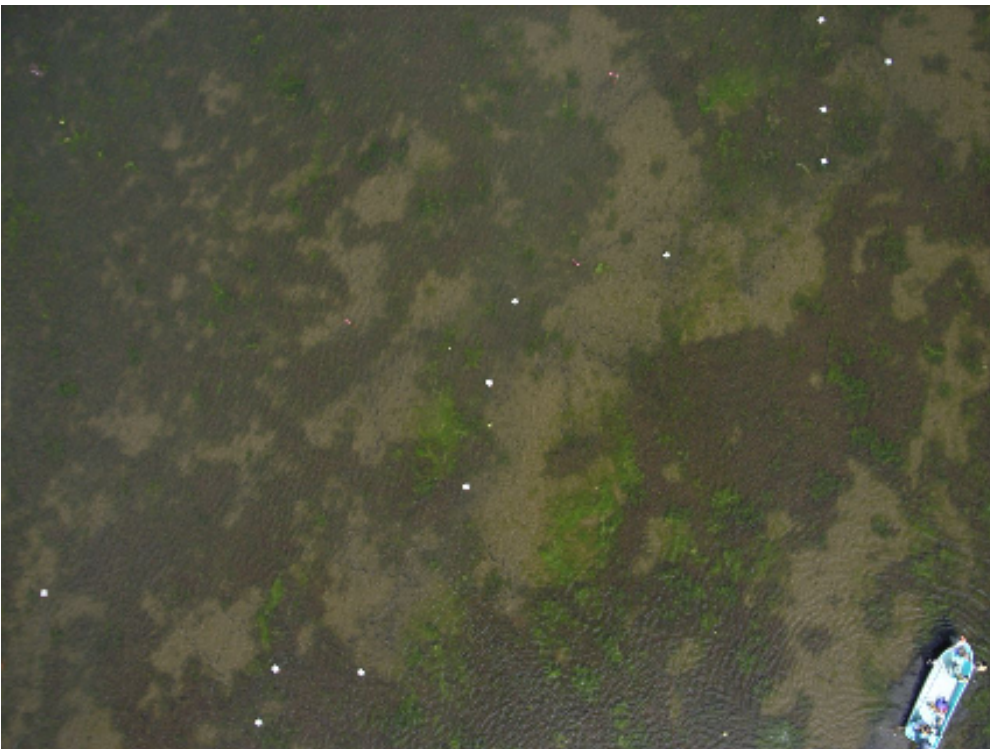


図 2. 厚岸湖神岩で撮影されたアマモ場の空中写真。白い点はベントスの採集地点を示している。  
Aerial photographs at Kamuiwa in Akkeshi-ko estuary.





図3. 厚岸湾アイニンカップで撮影したアマモ場の空中写真  
Aerial photograph at Aininkappu in Akkeshi Bay.

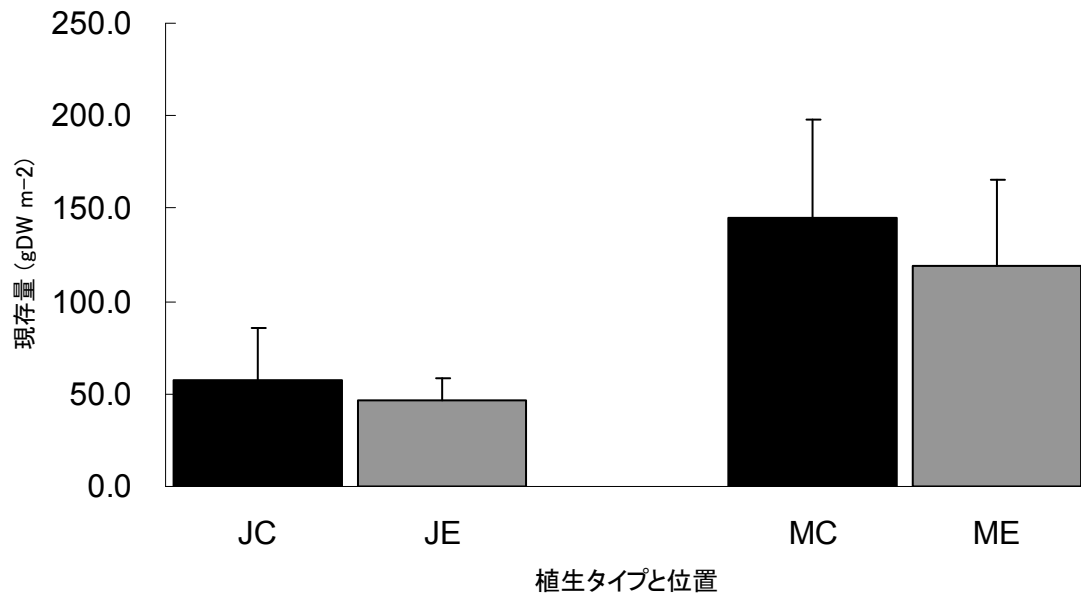


図 4. アマモ植生およびコアマモ植生における海草の現存量。アマモ植生における海草の現存量はコアマモ植生のものよりも有意に高かった。JC：コアマモ植生中心部、JE：コアマモ植生縁辺部、MC：アマモ植生中心部、ME：アマモ植生縁辺部

Biomass of seagrass in each vegetation type. Biomass of *Z. marina* vegetation were significantly higher than that of *Z. japonica* vegetation ( $p < 0.001$ ). JC: *Zostera japonica* Center, JE: *Z. japonica* Edge, MC: *Z. marina* Center, ME: *Z. marina* Edge.



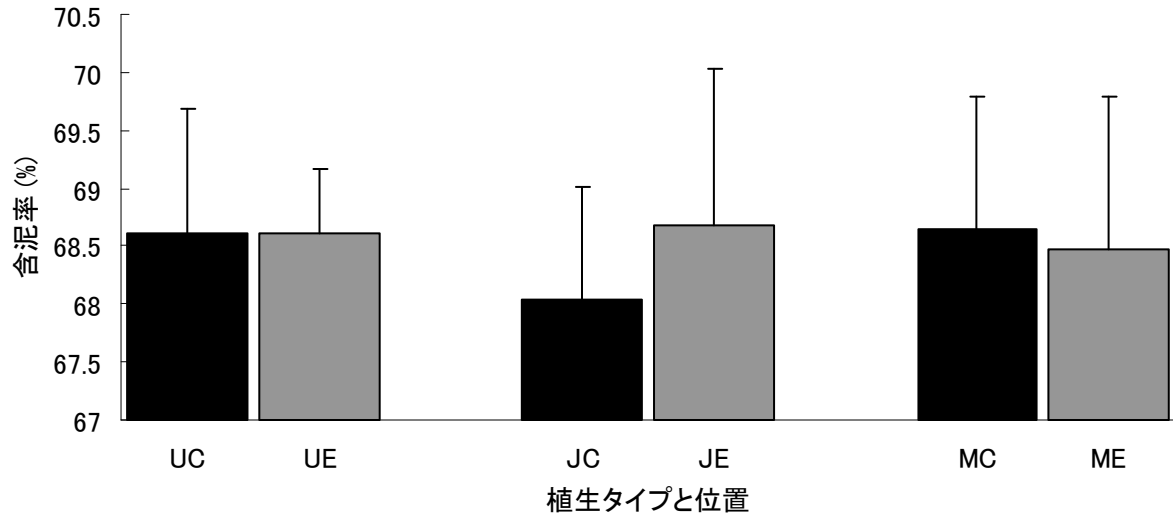


図 5. 各植生タイプおよび位置における含泥率 (%)。有意な違いは見られなかった。UC：無植生地中心部、UE：無植生地縁辺部、JC：コアマモ植生中心部、JE：コアマモ植生縁辺部、MC：アマモ植生中心部、ME：アマモ植生縁辺部。

Silt-clay content(%) in each vegetation type. Significant difference was not shown. UC: Unvegetation Center, UE: Unvegetation Edge, JC: *Zostera japonica* Center, JE: *Z. japonica* Edge, MC: *Z. marina* Center, ME: *Z. marina* Edge.

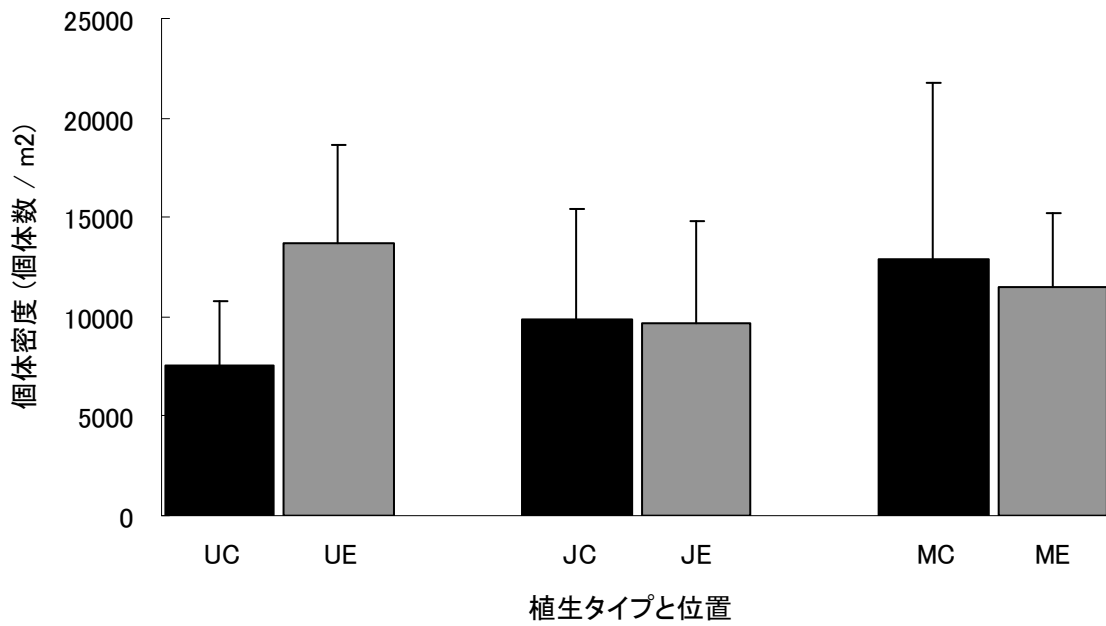


図 6. 各植生タイプおよび位置におけるベントス群集の個体密度。有意な違いは見られなかった。UC : 無植生地中心部、UE : 無植生地縁辺部、JC : コアマモ植生中心部、JE : コアマモ植生縁辺部、MC : アマモ植生中心部、ME : アマモ植生縁辺部。

Density of macrobenthic animals in each vegetation type. UC: Unvegetation Center, UE: Unvegetation Edge, JC: *Zostera japonica* Center, JE: *Z. japonica* Edge, MC: *Z. marina* Center, ME: *Z. marina* Edge.

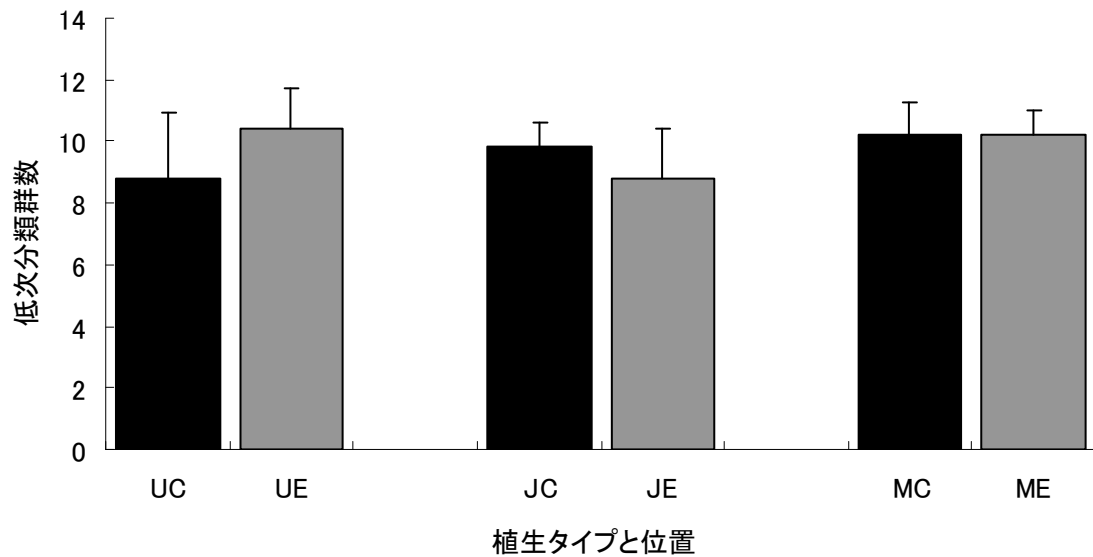


図7. 各植生タイプおよび位置におけるベントス群集の低次分類群数。有意な差は見られなかった。UC：無植生地中心部、UE：無植生地縁辺部、JC：コアマモ植生中心部、JE：コアマモ植生縁辺部、MC：アマモ植生中心部、ME：アマモ植生縁辺部。

Taxa richness of macrobenthic animals in each vegetation type. UC: Unvegetation Center, UE: Unvegetation Edge, JC: *Zostera japonica* Center, JE: *Z. japonica* Edge, MC: *Z. marina* Center, ME: *Z. marina* Edge.

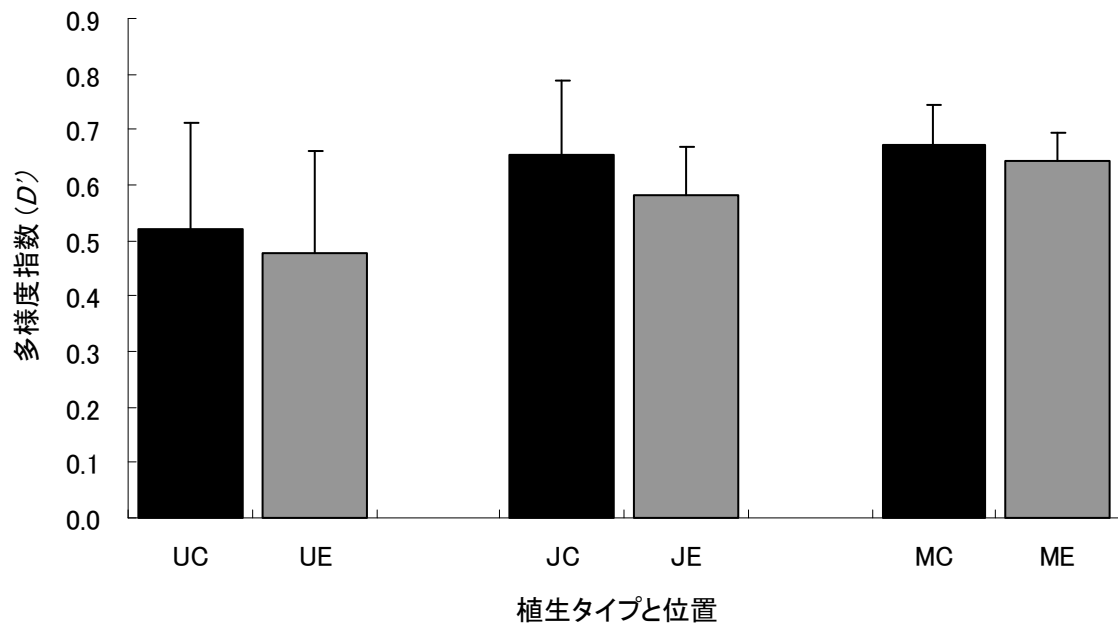


図 8. 各植生タイプおよび位置におけるベントス群集の多様度（シンプソンの多様度指数）。アマモ植生地におけるベントスの多様度は、無植生地のものよりも有意に高かった。UC：無植生地中心部、UE：無植生地縁辺部、JC：コアマモ植生中心部、JE：コアマモ植生縁辺部、MC：アマモ植生中心部、ME：アマモ植生縁辺部。

Simpson's diversity index ( $D'$ ) of macrobenthic animals in each vegetation type and position. [Diversity in \*Z. marina\* vegetation was significantly higher than that in unvegetated \( \$p < 0.05\$ \)](#). UC: Unvegetation Center, UE: Unvegetation Edge, JC: *Zostera japonica* Center, JE: *Z. japonica* Edge, MC: *Z. marina* Center, ME: *Z. marina* Edge.

表 1. 海草現存量の空間変異に対する分散分析の結果

Result of ANOVA verifying spatial variation of seagrass biomass.

Source of Variation	SS	df	MS	F	P
Vegetation Type	31792.428	1	31792.428	21.804	0.000***
Position within patch	1750.669	1	1750.669	1.201	0.289
Vegetation Type * Position	319.097	1	319.097	0.219	0.646

\*\*\* P < 0.001

表 2. 含泥率の空間変異に対する分散分析の結果

Result of 2-way ANOVA verifying spatial variation of silt-clay content.

Source of Variation	SS	df	MS	F	P
Vegetation Type	0.349	2	0.175	0.143	0.867
Position within patch	0.176	1	0.176	0.145	0.707
Vegetation Type * Position	0.923	2	0.461	0.378	0.689



表 3. 内在性ベントスの個体数密度 (a)、低次分類群数 (b)、シンプソンの多様度指数 (c) の空間変異に対する分散分析の結果

Result of ANOVA verifying spatial variation of density (a), taxa richness (b) and Simpson's diversity index (c) of macrobenthic animals.

(a) Density

Source of Variation	SS	df	MS	F	P
Vegetation Type	30629129.56	2	15314564.78	0.495	0.616
Position within patch	17194292.83	1	17194292.83	0.555	0.463
Vegetation Type * Position	82210731.27	2	41105365.64	1.328	0.284

(b) Taxa richness

Source of Variation	SS	df	MS	F	P
Vegetation Type	4.2	2	2.1	1.068	0.36
Position within patch	0.3	1	0.3	0.153	0.7
Vegetation Type * Position	8.6	2	4.3	2.186	0.134

(c) Simpson's diversity index

Source of Variation	SS	df	MS	F	P
Vegetation Type	0.14	2	0.7	4.103	0.029*
Position within patch	0.017	1	0.017	0.992	0.329
Vegetation Type * Position	0.002	2	0.001	0.072	0.931

\*P < 0.05