

干潟機能評価 -底質温度による干潟カニ生産量算出の試み- TIDAL FLAT FUNCTIONAL EVALUATION -CALCULATING PRODUCTION OF FIDDLER CRAB BASED ON SUBSTRATUM TEMPERATURE OF TIDAL FLAT-

林 文慶¹
Boon Keng LIM

¹正会員 学術博 鹿島建設株式会社 技術研究所 (〒240-0111 神奈川県三浦郡葉山町一色2400)

In order to understand bio-production process of fiddler crab (*Ilyoplax pusilla*) which is a typical benthic organism of sand muddy tidal flat, temperature range of the crab's activities on the substratum, effects of substratum temperature, habitat density and ebb period on the growth were determined indoor using an experimental tidal flat system in which water temperature, tide cycle and light intensity were controlled. Habitat density of the crab *in situ* was also surveyed every month for a year. The crabs emerge from their burrow for feeding as well as other activities as the surface substratum temperature ranged 13.4-46.5°C. There was a high correlation between temperature of the substratum during daytime eddy period and the growth. No increasing in fresh body weight of the crab was detected as the substratum temperature is below 13.7°C. The bio-production was calculated with data which were obtained by the indoor experiments as well as the site survey. The bio-production in the summer was 70 times larger than that in the winter. It is implied that temperature of the substratum is a crucial factor of influencing the bio-production of the fiddler crab in tidal flat.

Key Words: Tidal flat, fiddler crab, substratum temperature, bio-production, habitat density

1. はじめに

干潟には極めて高い生物生産性があり、陸上の耕地の倍以上の生産量があると言われている¹⁾。干潟がこのように高い生産性を持つのは、潮の満ち引きによって豊かな栄養塩や酸素が常に供給され、また、太陽の光や熱によって多様な生物(変温動物)の生育と繁殖が活発化されるためである²⁾。ここで生産

された植物プランクトン(微細藻類)を底生生物が摂取し、そして、その底生生物が鳥類・魚類の餌料になることによって干潟に流入する物質が循環し、浄化効果を発揮していると考えられる。この一連の連鎖において、干潟生物の代表例であるカニは、植物プランクトンの濾取、底質に巣穴を造り摂餌行動することによる底質の耕運、鳥類・魚類の餌としての存在などの重要な役割を果たしている。従って、

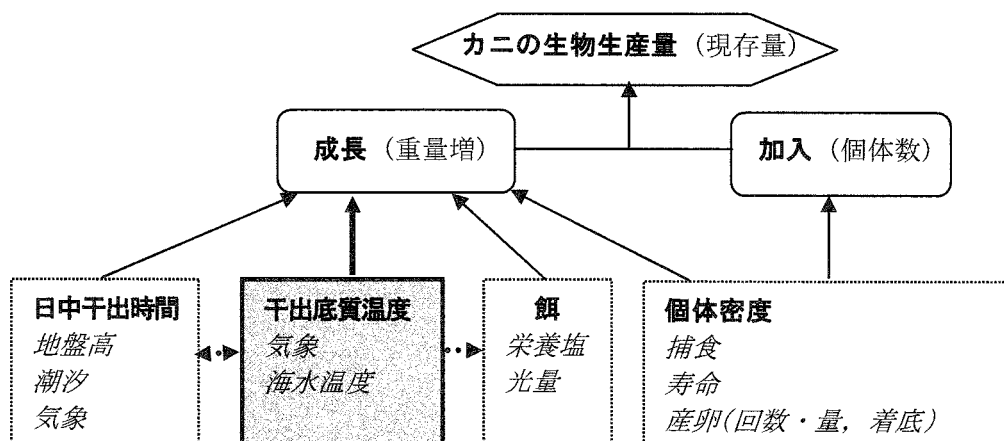


図-1 干潟カニの生物生産に係わる項目および因子

カニの活動と生産量の変動は、上述した干潟の物質循環・浄化機能の重要な指標の一つであると考えられる。干潟機能評価として、窒素や燐などの栄養塩物質循環の調査³⁾、並びに鳥類、二枚貝類、多毛類及び魚類の摂餌行動による物質生産・循環に関する調査報告の例は多い⁴⁾。また、干潟におけるカニの活動の干潟底質環境への寄与については著者らが調査し、報告しているが⁵⁾、カニの生物生産に関する研究報告はまだなされていない。

カニの生物生産量を予測するためには、図-1に示すように、個体の重量増と若い個体の加入量の2つのデータが必要である。これら2種のデータは、それぞれ様々な生態的・生理学的な因子の相互関係に大きく依存すると思われる。特に、干潟の干出底質の温度変化は、変温動物であるカニの活動に大きく影響するだけでなく、カニが濾取する植物プランクトンの生産量にも大きく関わっている。そこで本研究では、干潟生物の成育に大きく影響を与える熱量（底質温度）に着目して、室内模型試験装置を用いて、まずカニが活動可能な温度範囲の把握を行い、次いで、底質温度とカニの成長量の相関関係を明らかにすることを目的とした。また、干出時間及びカニ生息密度の相違によるカニの成長への影響についても調べた。さらに、干潟の現地調査を実施し、室内試験結果に基づくカニの生産量の予測を行った。なお、本研究の対象としたスナガニ科のチゴガニ (*Ilyoplax pusilla*) は、宮城県以南西表島までの日本各地沿岸や朝鮮半島南岸の海岸に広く分布しており⁶⁾、砂泥、泥底質干潟の潮間帯中部に生息する代表的な生物である。

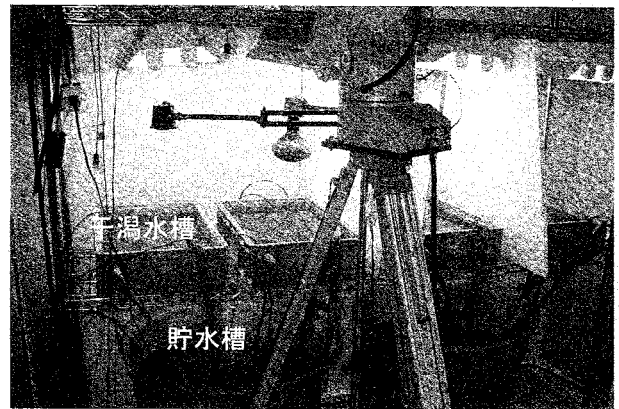


図-2 模擬潮汐水槽

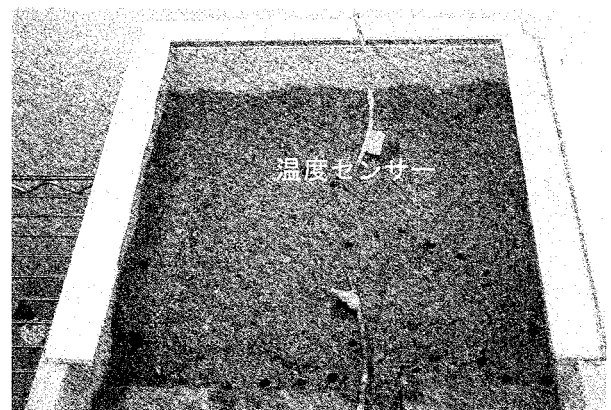


図-3 干出時の干潟表面

2. 干潟カニが活動可能な底質温度の検討

(1) 方法と材料

試験は模擬潮汐水槽（図-2）を用い、表-1 に示す試験条件で実施した。試験に供した底質とカニは、いずれも江奈湾（神奈川県三浦市）の干潟で採取した。供試底質は、マクロベントスや貝殻などを1mmメッシュの篩で除去した後、約6cm厚さで模擬潮汐水槽に敷き均して干潟底質部とした（図-3）。捕獲したカニは、爪の欠損がなく活発な個体を選別して収容した。試験は、約1週間カニを試験環境に馴致させてから開始した。干潟底質部の浸水と干出状態は、ろ過自然海水に水道水を加えて塩分濃度を調整した水を導入・排水することで実現した。試験に供したチゴガニは昼行性であり⁷⁾、底質中の行動様式は干潟干出直後から活動を開始し、干出後1時間から2時間後に活動個体数が最大に達すると報告された⁸⁾。今回の試験開始前の馴致期間においても同様の行動様式が観察されたため、本試験におけるカニに活動観察は、昼間の干出直後から200分間に渡って10分間隔で実施した。また、アイランプあるいは空調設備を用いて底質温度の設定をした。底質温度は、干潟底質の表面（0mm）、表層（-3mm）及び底層（-6cm）の3点に温度センサーを配置し、10

表-1 カニが活動可能な底質温度の試験条件

項 目	内 容
材料	
干潟水槽規模	31cm(W)×46cm(L)×12cm(H)
カニ収容尾数	雄10個体：雌10個体
カニ収容密度	約200尾/m ²
カニ平均甲幅	8.2mm
底質	干潟泥砂（江奈湾）
方法	
明暗条件	12時間明暗のサイクル
照度	3000lx（昼間）
潮汐	干満2回/日 （干出と浸水6時間サイクル）
海水塩分	1.5～2.0‰
測定・観察	
底質温度	データロガー10分間隔記録
カニの活動観察	ビデオカメラ録画で観察
評価	
カニの底質表面出現率	（瞬間出現個体数/干出中最多出現個体数）×100

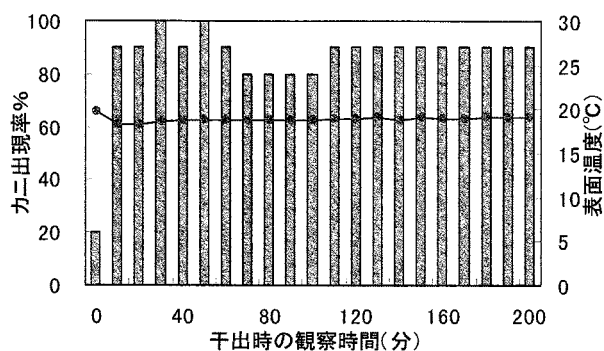


図-4 干出干潟底質表面温度約19°Cで一定とした場合のチゴガニ出現率

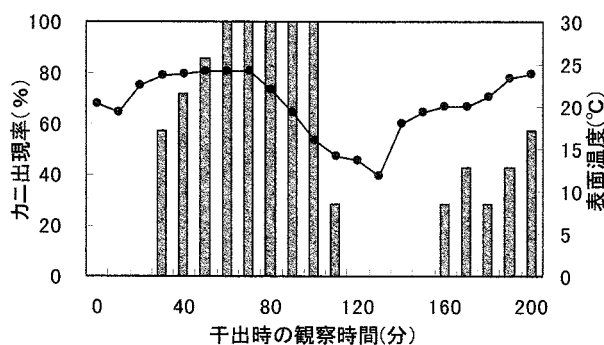


図-5 干出干潟底質表面温度11～25°Cで変動させた場合のチゴガニ出現率

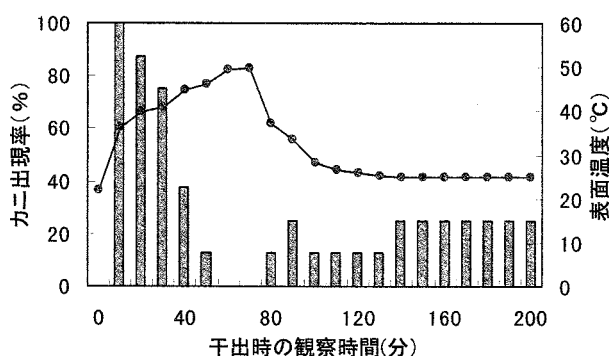


図-6 干出干潟底質表面温度20～50°Cで変動させた場合のチゴガニ出現率

分間隔の計測を記録した。

(2) 観察と評価

チゴガニが底質表面へ出現し活動することに対する温度影響の観察結果の一部を図-4, 5 と 6 に示す。底質表面温度を約 19°C に維持した場合、観察時間 (200 分間) のほぼ全域においてチゴガニの出現が見られた。表面温度を 25°C に維持した場合でも、カニの出現率は同様であった (図-4)。一方、干出直後の表面温度を 20°C とし、80 分後から徐々に温度を下げ、140 分後に 11°C とし、その後再び温度を上げて 200 分後に 25°C と変化させた場合、表面温

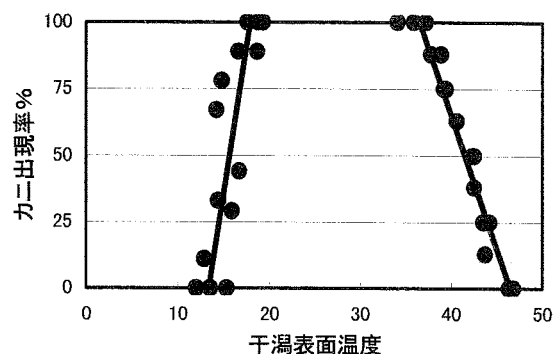


図-7 チゴガニ活動の干潟表面温度範囲値

度 15°C で最大のカニ出現率が観察されたが、15°C 以下ではカニは巣穴に戻り、底質表面での活動が見られなかった。カニが巣穴から再び出現し始めるのは、表面温度が 15°C 以上に達してからであった (図-5)。同様の温度変化パターンによる出現率観察試験は 3 回繰り返したが、カニの行動様式はほぼ同じであった。また、図-6 に示すように、干出直後から底質表面温度 20°C から 70 分後に 50°C まで上昇させ、その後 120 分後に 25°C まで下げた試験では、底質で活動するカニの出現率が表面温度 30°C で最大となったが、35°C 以上では出現率が低下し、45°C 以上では出現率が 0 となった。その後、底質表面温度を低下させると 40°C 前後で再びカニが出現することが観察された。同様の傾向は反復試験でも観察された。これらのカニの出現率は表面温度が最低設定温度または最高設定温度に達する前の方が、その後の期間よりも著しく高く (図-5 と 6)、低温並びに高温への暴露による一時的なストレスの影響によるものと考えられる。これらのデータに基づき、底質表面温度とチゴガニ出現率の相関を一次回帰直線で近似したところ (図-7)、チゴガニが活動できる干潟表面温度の範囲は、下限限界温度 13.4°C、上限限界温度 46.5°C と推定された。

3. 干出干潟底質表面温度を変化させたチゴガニの飼育試験

(1) 方法と材料

2. の試験結果に基づき、チゴガニが干潟干出時に底質表面に出現して活動できる温度範囲内で表面温度を 4 点設定し、チゴガニの成長と底質表面温度の関係を求めた。底質表面温度の設定は、アイランプの照射を 2800～36000lx の範囲内で変えることで行った。模擬潮汐試験水槽は、2. で用いたものと同じである。試験期間は 90 日間とした。飼育試験の設定条件を表-2、実際の底質表面温度の変動パターンを図-8 に示す。

(2) 計測結果

表-2 干出干潟底質表面温度を変化させたチゴガニ飼育試験の条件

項 目	内 容
材料	
カニ収容尾数	雄12個体：雌12個体
カニ収容密度	約240尾/m ²
底質	干潟泥砂（江奈湾）
方法	
明暗条件	12時間明暗のサイクル
干出底質表面平均温度 (最高値～最低値)	飼育ケース1: 33.8℃ (38.4～39.4℃) 飼育ケース2: 28.5℃ (25.1～33.7℃) 飼育ケース3: 20.1℃ (18.1～22.6℃) 飼育ケース4: 15.6℃ (15.3～15.9℃)
潮汐	干満2回/日 (干出と浸水6時間サイクル)
海水塩分	1.5～2.0‰
計測	
カニの生存率	試験開始前と終了後の収容カニ個体数の計数
カニの成長度	試験開始前と終了後のカニ個体の湿重量, 甲幅の計測

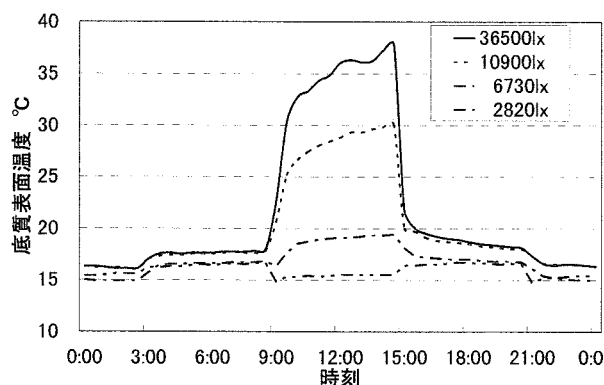


図-8 異なる照度による干潟底質表面温度の変動パターン

90 日間の飼育におけるチゴガニの生存率は、飼育ケース間に顕著な差はなく、ケース 1 では生存率 83%, 他の 3 つのケースでは 92%であり、収容したチゴガニのほとんどが生き残った。それぞれの条件における飼育試験前後のカニの平均湿重量及び甲幅を図-9 に示す。図-9 に明らかなように、底質表面温度が高いほどカニの湿重量及び甲幅の増加量が大きかった。これらのデータに基づき、1 日当たりの平均湿重量増加量と平均表面温度の相関式を最小自乗誤差法によって求めたところ、非線形近似式（対数式）の自乗相関係数は 0.987 と極めて高かった（図-10）。この近似式を外挿して得られるカニが成育できる底質表面下限温度は 13.7℃と推定された。これは、2. で推定したチゴガニが活動できる下限限界温度 13.4℃と極めて近い値である。

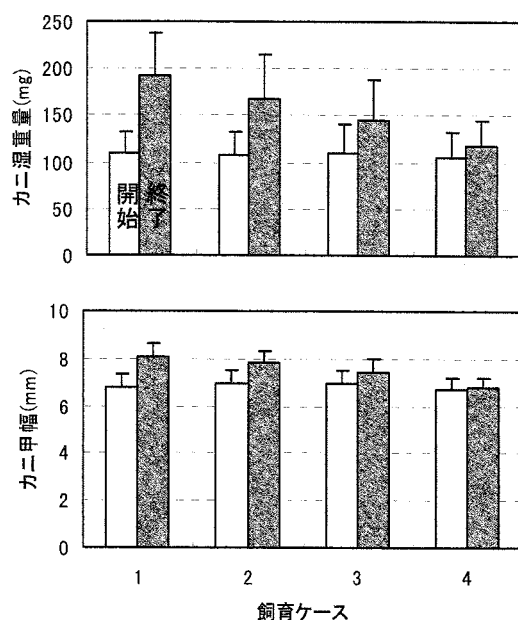


図-9 干潟底質温度を変化させたチゴガニ試験前後の湿重量と甲幅（平均±標準偏差）

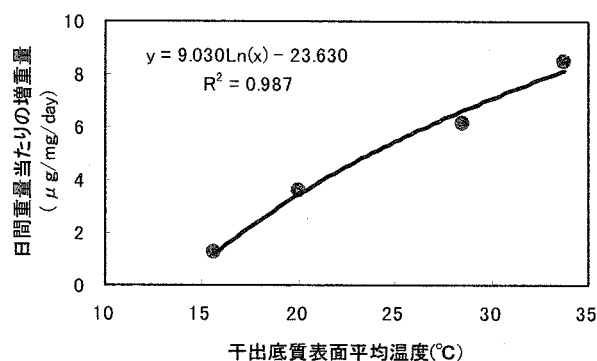


図-10 干出干潟底質表面温度とチゴガニの日間個体湿増重量の関係

4. 干潟底質の干出時間及び個体収容密度を変化させたチゴガニの飼育試験

(1) 方法と材料

カニの成長には底質温度だけではなく、底質干出時間及び個体の分布密度も影響すると考えられる（図-1）。2. と同じ設備を用いて、底質干出時間及び個体の収容密度におけるチゴガニの成長量への影響を調べた。試験期間は 98 日とした。試験条件を表-3 に示す。試験に供した底質並びにチゴガニは、上記の試験材料と同じ干潟から採集した。試験期間を通じて、光条件は明暗各 12 時間とし、明条件は 4000lx の照度である。底質表面温度の日間変動幅は全ての試験ケースにおいて 22～26℃であり、その平均温度は 24℃であった（図-11）。98 日間飼育後のチゴガニの生残個体数を計測し、チゴガニの湿重量及び甲幅は飼育期間前後で測定した。

表-3 干潟底質の干出時間及び個体密度を変化させた
チゴガニの飼育試験ケース

底質干出時間	
干出：3時間、浸水：9時間	
試験ケース1	
カニ収容尾数	雄5個体：雌5個体 計10個体 (生息密度：約100尾/m ²)
試験ケース2	
カニ収容尾数	雄10個体：雌10個体 計20個体 (生息密度：約200尾/m ²)
底質干出時間	
干出：6時間、浸水：6時間	
試験ケース3	
カニ収容尾数	雄5個体：雌5個体 計10個体 (生息密度：約100尾/m ²)
試験ケース4	
カニ収容尾数	雄10個体：雌10個体 計20個体 (生息密度：約200尾/m ²)

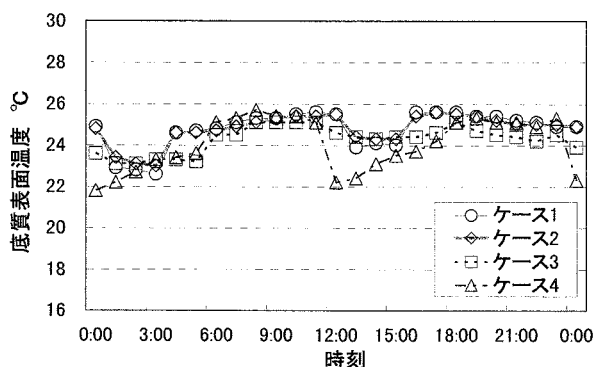


図-11 底質干出時間と個体密度を変化させたチゴガニ飼育試験の底質表面温度の変動パターン

(2) 計測結果

98日間飼育後のチゴガニの生残率は、試験ケース間で著しく異なり、ケース1、2、3及び4において生残率はそれぞれ40、50、90と65%であり、底質干出時間が短い飼育条件において生残率が低くなる傾向が見られた。また、雌の生存個体には抱卵個体が多く見られた(最大で生存雌個体の60%)。それぞれの試験ケースにおける飼育前後の平均湿重量及び平均甲幅を図-12に示す。図-12に明らかにように、底質干出時間が長く、収容個体密度の低い飼育条件(試験ケース3)における成育が最も旺盛であった。しかし、飼育終了時の湿重量及び甲幅のバラツキ(標準偏差)が大きく、低い生残率が影響しているものと予想される。チゴガニの単位面積当たりの湿重量(現存量)は、試験開始時及び終了時の生残率からの平均値と試験終了時の平均個体湿重量をかけて算出した。そして、底質干出時間を考慮したチゴガニの成長との関係を図-13に示す。チゴガニの現存量が多いほど干出時間を考慮した成長量が少なくなる傾向があり、非線形近似した時の相関係数は高い(図-13)。チゴガニの現存量が多いことは、すなわち、生息密度が高いことを意味する。

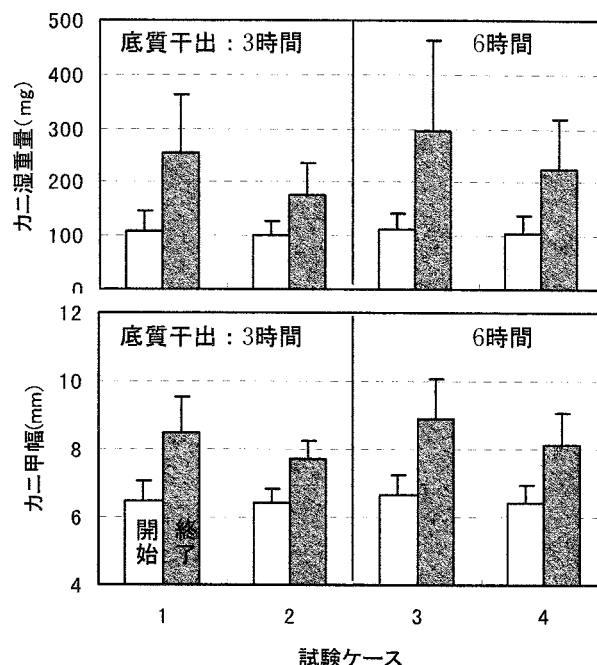


図-12 干出時間及び個体密度を変化させたチゴガニの試験前後の湿重量と甲幅(平均±標準偏差)

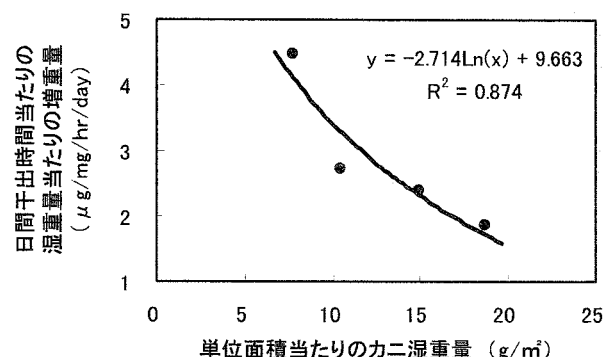


図-13 チゴガニの現存量と日間干出時間の増重量の関係

従って、なわばり形成の習性⁹⁾を持つことと個体当たり摂餌可能量が制限されることから、チゴガニの成長量に負の相関が見られるものと考えられる。

5. 干潟のチゴガニ個体密度調査・生物生産量の算出

(1) 方法と材料

チゴガニの生息密度調査は、室内試験に供した材料の採集場所である江奈干潟において、2000年9月から2001年10月までの期間、ほぼ毎月大潮時の干出時間帯に実施した。同干潟においてチゴガニが最も密集した2ヶ所のポイントを設定し、25cm(W)×25cm(L)×10cm(H)のコドラートで底質を採取した。採取底質は試験室内に持ち帰り、1mmメッシュ篩を用いて底質とカニを分けた。捕獲したカニの個体数、性別を調べ、湿重量と甲幅を計測し

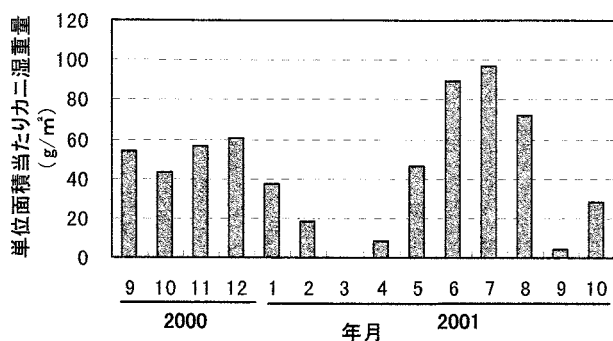


図-14 江奈干潟におけるチゴガニの現存量(甲幅3mm以上個体湿重量の合計), 2001年3月: no data

た。試料採取時には干潟底質表面の温度も測定した。

(2) 調査結果と生産量の算出

本調査結果によると、江奈干潟のチゴガニの生息密度は、冬季に低く（十数個体/m²）、夏季に高くなった（約 800 個体/m²）。調査期間における単位面積当たりのチゴガニの湿重量（2ヶ所の平均現存量）の変動を図-14に示す。チゴガニは5月から9月にかけて雌個体に抱卵個体が多く観察されたため、初夏からの加入及び昨年に生まれた個体の生存によって現存量が多くなったと考えられる。一方、夏から冬にかけて現存量が比較的少なくなったのは、台風などの悪天候のための干潟地形変化による底生動物の流出や死亡の発生⁴⁾（2001年9月の現地調査で観察）、渡り鳥による捕食の影響によるものと考えられる。また、著者ら¹⁰⁾の干潟温度環境調査よれば、2月～3月期には底質-10cmの温度が10℃以下になることが度々あったため、チゴガニがより深い底質層に移動したとも思われる。

図-14に示す江奈干潟の冬季及び夏季のチゴガニの現存量並びに干潟底質温度測定データを用い、図-10中の予測式を当てはめて計算された単位面積当たりのチゴガニの日間生物生産量は表-4に示す通り、夏季の生産量は冬季の約70倍に達すると推定された。チゴガニの生息個体密度並びに平均湿重量についてもいずれも夏季の方が高い数値であったが、中でも夏季の干出時の底質温度が極めて高かった（夏季の35℃に対して冬季は13℃）ことが大きく影響していると考えられる。すなわち、底質温度のみの寄与に換算して夏季は冬季に比して約40倍高い生産量となった。従って、チゴガニの成長に最も大きく影響する因子は底質温度であることが示された。

6. おわりに

江奈干潟における昼間の干出表面温度の年間変動範囲は10～35℃であるが¹¹⁾、1月と2月を除いて表

表-4 江奈干潟の底質温度、チゴガニの生息密度と生産量

季節 (月)	冬季 (2月)	夏季 (8月)
底質表面温度(℃)	13	35
単位面積当たりの湿重量(g/m ²)	18.2	72.3
生物生産量 (湿重量 mg/day/m ²)	9.1	643.5

面温度は15℃以上である。従って、3月から12月までは、チゴガニが底質表面で活動できる温度条件が満たされ、干潟における生物生産に大きく寄与していると考えられる。本研究では、底質温度、カニの生息密度及び干出時間の3つの変動条件に基づいてチゴガニの生物生産量を推定することが可能であることが示唆された。特に、生物生産量は干出時底質温度に大きく影響を受けることが明らかとなった。また、干潟底質温度はチゴガニの成長に直接的に係わる摂餌行動と餌料（植物プランクトン）生産を左右する因子の一つであるが、孵化カニの発生及び干潟底質への加入（生息密度の増加）に対しても大きな影響因子であると考えられる。従って、底質温度並びに照度を確保することによって生物の生産機能を促進する干潟環境作りが、これからの沿岸水域環境の整備、創出事業において極めて重要な課題の一つになるものと考えられる。

参考文献

- 1) 小野勇一：干潟のカニの自然誌，平凡社，自然叢書 29，pp. 47-55，1995.
- 2) 佐々木克之：内湾および干潟における物質循環と生物生産 (8) -干潟域の物質循環，海洋と生物 91，vol. 16，no. 2，pp. 122-128，1994.
- 3) 佐々木克之：内湾および干潟における物質循環と生物生産 (9) -干潟域の物質循環，海洋と生物 92，vol. 16，no. 3，pp. 200-205，1994.
- 4) 栗原 康：河口・沿岸域の生態学とエコテクノロジー，東海大学出版会 pp. 85-118，1988.
- 5) 林 文慶，越川義功，萩原清司，柵瀬信夫：干潟の研究 -チゴガニによる干潟環境への寄与について，国際シンポジウム テクノ・オーシャン '94 国際シンポジウム論文集，pp. 865-869，1994.
- 6) 和田恵次，小菅丈治，高山順子：チゴガニとハラググレチゴガニの分布，甲殻類の研究第 21 号，pp. 139-146，1992.
- 7) Ono, Y.: On the ecological distribution of oecypoid crabs in the estuary. Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ. Ser. E (Biol.), vol. 4, no. 1, pp. 1-60, 1965.
- 8) 牧 岩男，角野知彦：チゴガニ個体群の活動量 -季節変化と個体群密度に関連させながら-，和歌山大学教育学部紀要，自然科学，第 40 集，pp. 41-54，1991.
- 9) 和田恵次：チゴガニにおけるなわばり行動の多様性，海洋と生物 91，Vol. 15，no. 3，pp. 198-203，1993.
- 10) 林 文慶，稲垣聡，田中昌宏：小網代湾および江奈湾の干潟環境の観測，海洋開発論文集，第 17 巻，pp. 135-140，2001.
- 11) 林 文慶，柵瀬信夫：三浦半島江奈湾の干潟における熱環境特性，海岸工学論文集，第 43 巻，pp. 1206-1209，1996.