

庄内地方におけるカブトエビ *Triops cancriformis* (BOSC) の生態学的研究 V.

水田中のカブトエビ個体群の分布様式と方形区法 による密度の測定

五十嵐 敬 司

(山形県立酒田東高等学校)

Ecological Studies on *Triops cancriformis* (BOSC) inhabiting Shonai District, Japan V.
Estimation of the Distribution Pattern and the Density of the
Population by Quadrat Method
Keiji IGARASHI
(Sakata East Senior High School)

水田中のカブトエビ個体群の密度測定に有効な方法の一つとして、方形区を用いる方法が考えられる。すでに、この方法による測定例もあるが²⁾³⁾⁹⁾、これをより効果的に適用するための方法や、得られた数値の精度などについては、明らかでない。今回は、この方法によって得られた、山形県酒田市の水田に生息するヨーロッパカブトエビ *Triops cancriformis* (BOSC) 個体群の密度 (方形区あたりの平均密度) について、誤差を生ずる主要素と、その精度の検討から、一水田内の平均密度の効果的測定法を考えたい。

材 料 と 方 法

利用したのは、発生密度が明らかに異なる2コホート (同時出生集団; YM-71, IN-72; 表1) の資料で、方形区 (いずれも1 m²) は、水田内に40または42ヶ所設置された。なお、この資料の一部はすでに報告した³⁾。

方形区を利用する方法では、方形区の設置場所・設置時期・方形区数・方形区の大きさ、それにエビの密度などによって、得られる平均密度 (方形区あたり) の標本誤差は変化するであろう。これらは、おもにエビの分布様式によって、大きく影響されるものと思われる。酒田での観察では、カブトエビの分布様式は、局部的に、たとえば畔際と水田中央部とで、また、時間的にも (発生期間中の前期・後期など) かなり違うように考えられている³⁾。これらの差異は、水田中のカブトエビ個体群の密度によっても影響をうけるであろう。また、上の差異とエビの生活との関連も考える必要がある。これらは、次の様にした。

この動物は、年1回、5~6月に水田に発生する。この発生期間中、2~5日おきに、上述の2コホートの各

表1 利用した2コホートの概況

コホート記号	YM-71	IN-72
生息水田所在地	酒田市大字坂野 辺新田字藤山	酒田市大字宮ノ 浦字飯森山西
水田面積 (m ²)	852.5	560.0
耕 作 者	佐藤重一氏	佐藤治作氏
調 査 期 日	1971年5月25日 ~6月16日	1972年5月18日 ~6月14日
水田への注水後 13日目の方形区 あたりカブトエビ 平均個体数 (m ²)	15.5	114.1
平均甲殻長 (mm)	9.3	6.0

方形区から採集された個体数の資料を、畔に接して設置された22区と、水田中央部 (畔際から、方形区の外辺が1 m は離れている) の各方形区群 (YM-71は21区, IN-72は18区) とに分け、森下 (1959) の $I\bar{d}$ 値¹³⁾ と、平均密度の相対誤差と必要な方形区数¹⁷⁾ をそれぞれ算出して、比較してみた。

また、方形区の面積の変化に対応する、得られた個体群の平均密度・採集個体数の変動係数 (s/ \bar{x})・ $I\bar{d}$ 値の変動を知る目的で、IN-73のコホートから、次のように資料を得た。

(25×25) cm² の方形区を、相接して横位置12列、縦位置は畔から畔まで水田を横断するように332区を設置した。各区から得た個体数を、隣接する部分ごとおして組み合わせ、1/16~8 m² の方形区からの採集個体数とした (重複しないようにした)。これらの資料から上記の数値

表2 畔際と水田中央部の方形区あたり平均個体数に対する相対誤差

コホート	YM-71		IN-72	
調査期日 (水田への注水 後日数)	1971年6月6日 (13日)		1972年5月30日 (13日)	
区分	畔際	中央部	畔際	中央部
方形区数	22	21	22	18
採集総個体数	345	306	1,637	1,254
方形区(1m ²)あたり平均個体数(x̄)	15.7	14.6	74.4	69.7
Iδ	1.61	1.13	1.30	1.04
相対誤差(%)	70%*	18.58	10.36	12.71
	95%	36.28	20.32	24.82

* 信頼度を算出した。

調査結果

1. 水田内におけるカブトエビの分布様式

a. 2コホートの分布様式の推移

YM-71のコホートの平均密度(1方形区あたりの平均個体数)は、水田への注水後13日目に15.5頭/m²、IN-72は、同じく13日目に114.1頭/m²と見積られ、後者は、前者よりやや密度の高い集団である。この2コホートの生育過程で、各方形区から採集された個体数のうち、IN-72の資料は図1に(YM-71のは報告した³⁾)、この資料から算出されたIδ値は図2に示した。

これらの結果は、次のようにまとめられる。

1) 2コホートとも、水田への注水後7~9日以前には、Iδ値が著しく高いことが認められた。この強い集中度は、乾燥していた土中卵が、代播時に浮遊して、畔際に風で寄せられ、そこで孵化した幼生が、そのまま局所的な高密度域を形成する³⁾ためであろう。

2) YM-71のIδ値は、IN-72の値とよく似た過程を4~5日ずれてたどり、全体として後者より大きい値をとる日が多かった。

3) YM-71では注水後13日目に一度だけIδ値がやや1に近づいた。この水田にはいつも流入水があり、発生期中期には、水口附近の密度が高くなるのが観察された。しかし、この日には水口がふさがり、水口附近のパッチは認められなかった。また、観察によると、IN-72でも畔際の高密度域は、水口か畔をこえる流入水のある

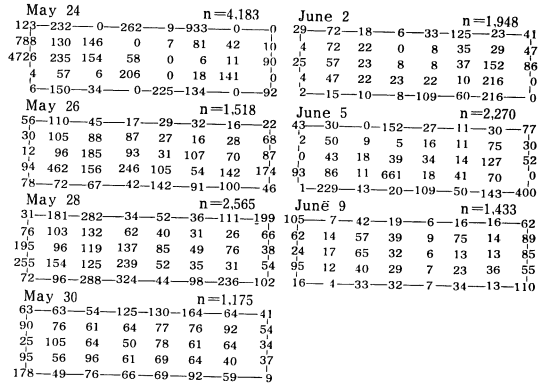


図1 IN-72の各方形区(1m²)から採集された個体数

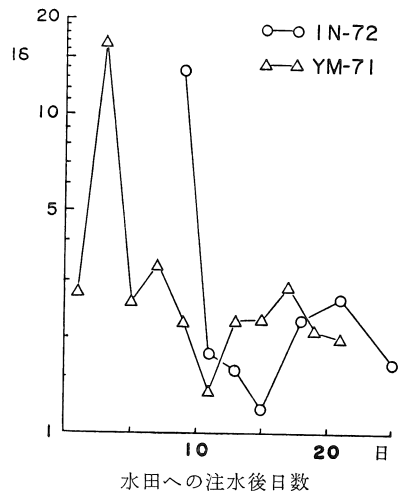


図2 2コホートの生育過程にともなうIδ値の変化

部分と一致していた。この現象が、カブトエビの走流性によるものであることは既に報告した²⁾。

b. 畔際部分と水田中央部分の分布様式

次に畔際の方形区群と、水田中央部の方形区群から求めたIδ値とを比較してみた(図3・4)。また、YM-71で、畔際の方形区群を、さらに東西畔の区群と南北畔の区群とに区分し、両者間でもIδ値の比較をした(図5)。

1) YM-71では、畔際のIδ値が、水田中央部のそれよりも、生育のほぼ全過程にわたって大きく、単純に求めた両者のIδ値の平均間には有意の差があった。しかし、IN-72では、同様の比較で差が認められなかった。

2) YM-71の、注水13日後のIδ値は、畔際・水田中央部ともに1に近くなり、両者間も比較的接近した値を示した。

3) YM-71の水田では、南側畔の1ヶ所の水口から常

時水が流入、北側畔の2ヶ所から流出している。そこで、南北畔に沿った方形区群と、東西群に沿った方形区群間で $I\delta$ 値の比較を行なった。この結果、南北畔区群の数値は、東西畔のそれよりも大きいことが多かった。

以上の1)～3)は、いずれも流入口を含む畔際部分の $I\delta$ 値が高くなることで共通しており、カブトエビの走流性が関係し、水田への流入水がパッチの成因となることを意味している。しかし、観察によれば、畔際のパッチはすべて走流性が関係するのではなく、畔際の草が作る日陰部分にも多いようである。これは、カブトエビの走光性が関係しているようで、これについては、機会を改めて報告したい。このようなパッチの大きさは、畔から数10 cm 程である。

2. 1 方形区あたりの平均個体数の誤差

a. 2 コホート間の比較

YM-71, IN-72 から得た資料から、別々に1方形区あ

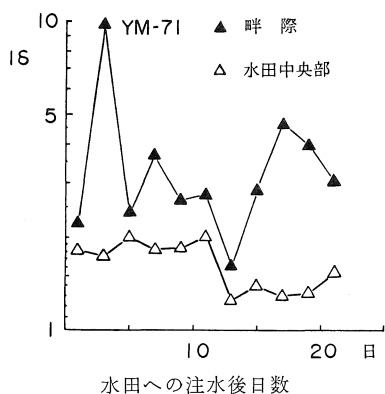


図3 YM-71における畔際と水田中央部の $I\delta$ 値の比較

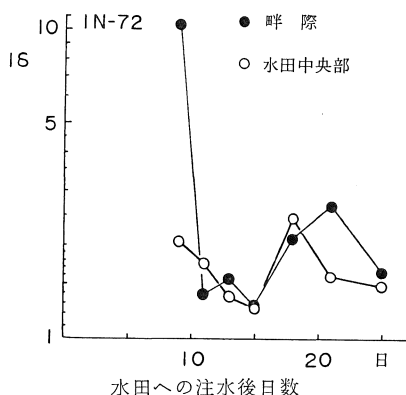


図4 IN-72における畔際と水田中央部の $I\delta$ 値の比較

たり平均個体数の相対誤差を算出し、それらを比較した¹⁶⁾ (図6)。

1) YM-71では、発生期間の初期にみられた、集中度の高い時期を除くと、1方形区あたり平均個体数の相対誤差は、11～25% (信頼度70%)、IN-72 では8～21% (同)だった。

2) 相対誤差がもっとも小さかったのは、YM-71では6月6日、IN-72では5月30日であった。これらは、 $I\delta$ 値のもっとも小さい日でもある。この時は、それぞれ10.6%, 7.5% (信頼度70%) であった。

b. 畔際と水田中央部の名方形区群間の比較

ここでは、とくに $I\delta$ 値の小さかった日について、畔

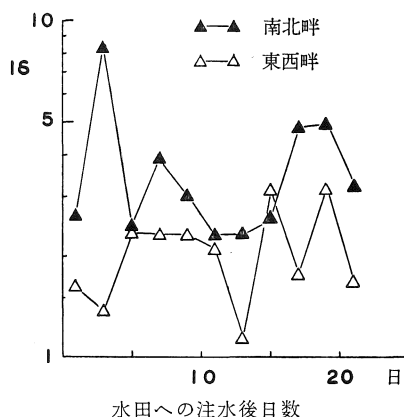


図5 YM-71における南北畔・東西畔附近の各方形区の $I\delta$ 値の比較

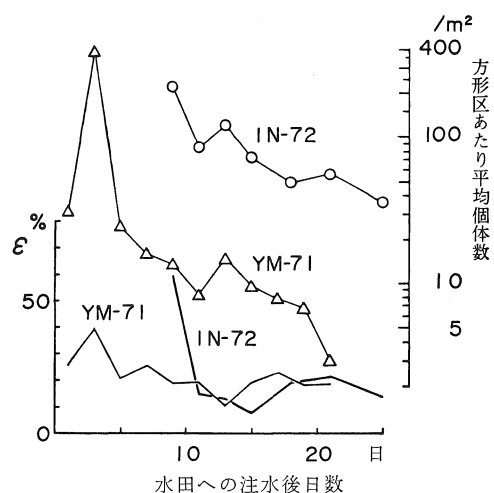


図6 2 コホートにおける、方形区あたり平均個体数 (上方の2線) に対する相対誤差 (下方の2線: 信頼度70%の場合を示す)

際と水田中央部分とで、1 方形区あたり平均個体数の相対誤差を求めた (表 2).

この結果、IN-72 では、水田中央部 6%, 畔際 13% (信頼度 70%) であった. YM-71 では、それぞれ 10%, 19% (信頼度 70%) であった. 畔際の方形区群の誤差は、中央部の 2 倍弱になっていることになる.

3. 方形区数と区あたり平均個体数の誤差

YM-71, IN-72 から得られた資料をもとに、Iδ 値のもっとも小さい日の必要方形区数を試算した (図 7).

この結果、相対誤差を 10% におさえるとすれば、IN-72 では水田中央部で 5 区以上、畔際では 32 区以上 (信頼度 64%) が、また、YM-71 では、それぞれ 20 区以上、68 区以上が必要であることになる (信頼度同上). 方形区

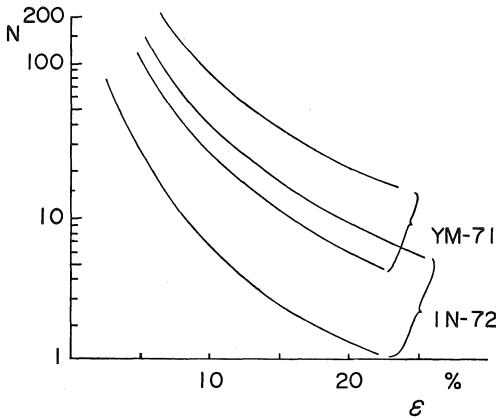


図 7 2 コホートの資料から得た相対誤差と必要方形区数の関係. 各コホートの上の線は畔際, 下の線は水田中央部の資料による. いずれも $t = 1$ (信頼度約 64%) の場合である.

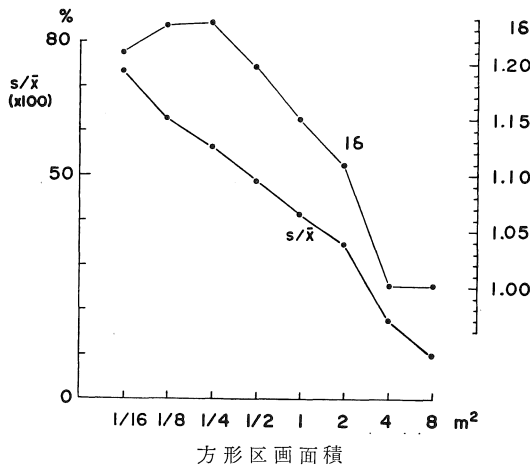


図 8 IN-73 における方形区面積と変動係数 (S/̄x)・Iδ 値の関係

は 1 m² とした場合である.

4. 方形区の大きさについて

IN-73 のコホートで、(25×25)cm² の方形区 332 個を、相接した位置に設置して、カブトエビを採集した資料をもとに、方形区面積と Iδ 値・各区からの採集個体数の変動係数 (s/̄x) との関係をもとめた (図 8).

このコホートは、調査時の区あたり平均個体数が 49 頭/m² (ほぼ、IN-72 と同じ) の、かなり高密度の集団である. 調査は、1973 年 6 月 9 日、午後 1 ~ 3 時に行なわれ、平均甲殻長は 10.0 mm、生息水田への流入水はなかった.

調査の結果、方形区面積が 1/16 ~ 1/4 m² の時には、Iδ 値は 1.21 ~ 1.24 だったが、1/4 ~ 8 m² では、面積が大きくなると、しだいに 1 に近づく傾向がみられた. この傾向は、機会的分布の典型的な例に適合する^{13), 14)}. これはまた、各区からの採集個体数の変動係数の変化過程ともよく似た特徴をもっていた. この方は、1/4 ~ 2 m² の範囲では、s/̄x の値が急に安定してくることはなく、なだらかな過程で変化した.

論 議

方形区からの採集個体から、区あたり平均個体数を求める時に、誤差を生ずる原因として、カブトエビの場合に考慮されるべきおもな要素は、次の 2 つに大別できよう.

1 つは、水田内での個体群の分布様式に関連を持つ事柄であり、もう 1 つは、採集作業時に人為的におきる事柄である. 今回は、とくに前者を問題にしたい.

(1) 水田内のカブトエビ個体群の分布様式をめぐる問題

カブトエビ個体群の分布様式は、調査の結果から、ほとんど集中的分布であることがわかったが、時にやや機会的分布に近づく場合のあることもみられた. そして、このような分布様式に影響を与える要素のいくつかが見い出された. そして、もしカブトエビ個体群が、機会的分布をしているならば、区あたり平均個体数の誤差が小さくなる結果も得られている. したがって、個体群が機会的分布になる時に作用する要素を考えることは、畔で区切られた水田内のエビの、より正確な密度測定法を見出す上で重要である.

比較的高密度のコホート (IN-72) の Iδ 値は、全体的に見て、低密度のコホート (YM-71) のそれより小さい日が多かった. これは、より密度が高い集団では、カブトエビを誘引する要因がなければ、分布様式が機会的分布

に近くなることを示すようにも考えられる。しかし、これは YM-71 と IN-72 間の流入水要因の差にもとづく現象である可能性もあるので、一般化することには危険がある。しかし、発生期中期（甲殻長平均 10.0 mm 期）に、IN-73 で、方形区の面積増加につれて、 I_d 値が 1 に漸近する現象がみられたことは、注目に価する。方形区の中に入るカプトエビ数が多くなれば、標準誤差が小さくなり、母集団の分布様式が明らかになるのではなからうか。

カプトエビ個体群は、次に述べるような、外的条件が作用しなければ、発生期中期以降には、本来は機会分布をしていて、方形区に入るサンプルが少ないと、集中分布のような数値が得られる、とも考えられるのである。

次に、採集面積を増して、採集個体数を多くしていくと、カプトエビ個体群では、各区からの採集個体数の変動係数は、 $1/16 \sim 2 \text{ m}^2$ の範囲でなだらかに低下して 1 に接近した。ところが、採集面積と、採集個体数の関係について、仙台湾のベントスでは、Smith-Macintyre 型の採泥器で 3 回以上試行すると、採集個体数の増加状況がほぼ一定になったという¹⁹⁾。また、このような一定の状況は、海のベントス群集においては、種類数の場合の方が、個体数・生物量の場合よりも、大きな採集面積を要するという^{1) 18) 19) 20)}。このような、採集個体数の増加状況の安定傾向は、水田のカプトエビ個体群の場合には認められなかった。

これは、カプトエビの個体群密度が、海の動物より低くて、しかも機会分布であるのに対し、海産ベントスではより高密度で排列的な分布をする種類が多いと考えることもできる。

カプトエビの作るパッチの成立に関係する要素は、方形区群の I_d 値が大きくなることを手がかりに、いくつかを論ずることができる。

1) 調査した 2 コホートでは、発生期間中の早い時期に、水田内でのカプトエビ個体群の I_d 値が非常に高い値を示し、その後急減する傾向がみられた。これは、土中の乾燥卵の浮遊性と風の作用による卵の偏在の影響と考えられる。この理由は、 I_d 値の高い値も、卵の偏在も、時期が発生期の初期に限定されることによる。

2) 発生期間中の中・後期にも、畔際の方形区群の I_d 値は、しばしば高い値を示した。このようなパッチの成因としては、次のような現象を考えることができる。

まず、日陰に個体数が多くなる現象（負の走光性）があり、畔際の草かげにカプトエビが誘引される、という

仮定が可能である。

次に、水口を含む、畔際の方形区群の I_d 値が、それを含まない区群のよりも大きいことがわかり、パッチの位置と水口の位置とがよく一致している現象も観察された。これらは、水田への流入水に対する、カプトエビの走流性による対応で²⁾、発生期中期以後の畔際パッチの、最有力成因の一つと考えられる。

また、観察によると、水田の底面が不十分な代掻作業のために、一部に深い個所ができると、この部分のカプトエビ密度が高くなる現象が、2 コホートでともにみられた。これは、水田の中央部で、エビの集中度を高める原因の一つになることが考えられる。

以上のような諸条件は、いずれもカプトエビの生息水田で、ひろく観察できるものと思われる。

このほか、水田内の局所的な水温の差異と、密度との関連を示唆する資料の報告もあるが⁹⁾、今回の調査では、確認できなかった。

(2) 方形区からの採集作業時の人為的要素

カプトエビの遊泳行動は、比較的緩慢だが、ほかの個体との衝突などで解発される逃避行動では、かなり早く移動する。それで、方形区設定作業ではこのような逃避行動がひき起されないように留意すべきである。しかし、少し注意すれば、ほとんど支障なく作業を進めることができる。

方形区内の個体を採集する時、区内の水を全量汲み出しても、泥表面に付着して、とり残しが出る危険がある。これは、区面積が大きい程、カプトエビが小さい程、おこりやすい。したがって、採集後に篩を通した水を区内に注ぎ、泳ぎ出す残留個体を確認すべきであろう。また、方形区が木製だと、浮力を生じて仕事がしにくく、筆者はトタン製のものを用いている。

次に、以上のような諸要素を考慮しながら、方形区法によって、カプトエビ個体群の密度を、より効果的に求めるための留意点を指摘したい。

1) 畔際の方形区数は、一般に水田中央部分よりも多くする必要がある。畔際の I_d 値が高く、それを低くするような措置がとれない時には、中央部の 3～6 倍の方形区の設定をしないと、誤差レベルを同程度にはできない。

2) エビの集中度は、発生期中期以後（例えば、水田への注水後 13 日目よりあと）に、低まる傾向にあるので、測定時期を自由に選べるのであれば、この時期を選べば、比較的よい結果が得られるだろう。この時期以後、あまり発生末期に近づくと、生存個体数が少なくな

って区数を増やさなければならぬ。また測定時の半日位前に、水田への水の出入りをとめるなどの方法で、カブトエビの集中度を低くするような措置を考え、誤差を10%以内(信頼度70%)にすることができよう。方形区は1m²が手頃でよいと思われる。

3) 1枚の水田内におけるカブトエビ個体群の平均の密度推定値(方形区からの採集個体数の単純平均ではない)は、次のように算出すればよいと思われる。

実際の各方形区からのサンプルは、畔から1m以内の水域を代表するものと考え、まず、その各水域中の総個体数を算出する。そして、それらの総和から、畔際部分の総個体数を求める。同じようにして求めた水田中央部分からの総個体数を加えて、1水田内の全カブトエビ個体数を求め、これを水田面積で割って、1水田のカブトエビ個体群の平均密度推定値とする。

摘 要

1. 水田中のカブトエビ個体群の分布様式とその成因の一部を、経時的に明らかにすることを試みた。これらの結果と、方形区による密度測定時に生ずる標本誤差との関係を論じ、効果的な密度測定法を考えた。

2. 山形県酒田市の、生息密度の異なる、2枚のヨーロッパカブトエビ生息水田に、1m²の方形区を、それぞれ42, 40ヶ所設置してサンプリングを行なった。

3. 高密度コホート(IN-72, 水田への注水後13日目に114頭/m²)のI₀値は、生育期間全体としてみると、低密度コホート(YM-71, 水田への注水13日目に15.5頭/m²)のそれより小さい日が多かった。また、同一水田内に1/16~8m²の方形区を設置したが、方形区面積の増加にともない、採集個体数のI₀値は1に近づいた(I₀値が発生期間中もっとも小さくなる時期に行なった)。このことから、誘引要因がなければ、カブトエビ母集団の分布は、機会的分布をしていると考えられる。

4. 水田内では、畔際各区のI₀値は中央部のそれより大きい。その差はYM-71でより大きい。これは畔際パッチによるもので、その成因は、卵の浮遊性、流入水へのエビの反応などである。パッチ生成によるI₀値の上昇は、区あたり平均個体数の相対誤差を大きくする。

5. 例えば、水田への注水後11~18日ごろ、水田への流入水をとめるなど、I₀値を下げる措置をしてから密度測定(方形区数40以上)をすれば、誤差は10%以下(信頼度70%)で平均密度が推定できよう。また、1水田内の平均密度の推定は、畔際部分・中央部分とでそれぞれ別々に総個体数を算出、両者を加えて求めた水田内

全個体数を水田面積で割って算出すればよい。

参 考 文 献

- 1) HOLME, N. A. (1953): The biomass of the bottom fauna in the English Channel of Plymouth. J. Mar. Biol. Assoc. U.K. 32, 1-49
- 2) 五十嵐敬司(1970): 庄内地方におけるカブトエビ *Triops longicaudatus* の生態学的研究 II. 山形農林学会報 27, 33-39
- 3) ——— (1972): 水田中におけるカブトエビ *Triops longicaudatus* (LECONTE) 個体群の生息密度の変化 I. 同上 29, 13-19
- 4) ——— (1973): 水田中におけるカブトエビの個体群密度. 動雑 82(4), 394
- 5) ——— (1976): 水田におけるカブトエビ個体群の生産過程 第23回日本生態学会大会講演要旨集
- 6) 伊藤嘉昭(1963): 個体数調査法 動物生態学入門 古今書院, 東京 32-106
- 7) 片山寛之(1972): カブトエビと水田雑草の生物学的制御 I. ミチューリン生物学研究 8(1), 29-37
- 8) ——— (1973): 同上 II. 同上 9(1), 16-27
- 9) ——— (1974): 同上 IV. 同上 10(2), 107-115
- 10) 片山寛之, 植木邦和, 曾我 実, 松本啓志(1974): 水田雑草の生物学的制御におけるカブトエビの除草効果についての野外実験, 雑草研究 17, 55-59
- 11) KOBAYASHI, S. (1960): Studies on the progressive change in the distribution pattern of the common cabbage butterfly, *Pieris rapae crucivora* BOISDUVAL in a cabbage farm and its mechanisms. Res. Popul. Ecol. 6, 43-53
- 12) MORISITA, M. (1954): Estimation of population density by spacing method. Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ. Ser. E (Biol.) 1, 187-197
- 13) ——— (1959): Measuring of the dispersion of individuals and analysis of the distributional patterns. Ibid. 2, 215-235
- 14) 森下正明(1961): 動物の個体群. 動物生態学 朝倉書店, 東京 163-263
- 15) MORISITA, M. (1962): I₀-index, a measure of dispersion of individuals. Res. popul. Ecol., 4, 1-7
- 16) ——— (1964): Application of I₀-index to sampling techniques. Ibid. 6, 43-53
- 17) 小野勇一(1967): 動物の個体数調査法, 生態学実習

- 書 朝倉書店, 東京 87-107
- 18) Reish, D. J. (1959): A discussion of the importance of the screen size in washing quantitative marine bottom samples. *Ecol.* 40, 307-309
- 19) 山本護太郎, 北森良之介, 西平守孝, 宍戸 勇, 波部忠重 (1970): 仙台湾ペントスの生産 (その3)
8. 重要種的生活環と成長に関する二, 三の知見について. 昭和44年度 IBP-PM 北方冷水海域の生物生産・仙台湾
- 20) 山本護太郎 (1973): 現存量の測定. 水界動物生態学Ⅱ. 共立出版 東京 24-34

Summary

A spacial distribution pattern of a crowded population of tadpole shrimps in a rice field (*Triops cancriformis* (BOSC); IN-72; 45-72 individuals per 1 m², the length of their carapace is 7 mm on the average) is different from that of a population of tadpole shrimps (YM-71; 9-13 individuals per 1 m², the average length of their carapace is 7 mm). The former population does not show so clumpy distribution of shrimps as the latter. Especially the distribution pattern of the former, when the average length of their carapace is 7 mm, has a close resemblance to the poisson type. The aggregated distribution of the latter seems to be caused by the floating nature of dry eggs and by the wind. The value of $I\delta$ index to the spacial distribution of tadpole shrimps, obtained by using the various quadrates from 1/16 m² to 8 m², draw gradually to 1 with the increase of the size of quadrates. From these results, it can be said that almost all the distribution patterns of tadpole shrimps in the rice field show the poisson type, except in

some parts where there are some factors to aggregate the shrimps. In the marginal area around the rice field, enclosed with the footpath and the line drawn one meter inside the rice field, the distribution pattern often shows the aggregated type. The water current flowing into the field and the shade of the plants growing on the side of the footpath seem to aggregate the shrimps in the marginal area, because of their rheo-taxis and photo-taxis. The density can be efficiently estimated when the spacial pattern of shrimps shows the random type. In order to make the distribution pattern of the population the random type, it is effective to take measures so that the water cannot flow into the rice field from outside. The number of all the individuals in the rice field can be estimated from the number of shrimps both in all the marginal area and in all the inside area. From these is calculated the average density of tadpole shrimps in the rice field.