

アンパル干潟におけるカニ類メガロパ幼生の回帰過程

Recruitment Process of Brachyuran Megalopa in the Amparu Tidal Lagoon, Ishigaki Island, Okinawa, Japan

河内 敦¹・石川忠晴²・菊地弘之³

Atsushi KAWACHI, Tadaharu ISHIKAWA and Hiroyuki KIKUCHI

In order to grasp return process of brachyuran megalopae to the Amparu Tidal Lagoon, they were collected by using two planktonic nets at the channel connects with the Nagura Bay in Feb. to May, 2007. Many megalopae captured intensively for a short time during the flooding tide before dawn around the new moon periods of Mar. and Apr. Based on the results, the immigration region of megalopa in the sea is estimated, and it seems that they immigrate from the deeper area approximately 500 meters away from the mouth of the lagoon. The settlement distribution of them in the lagoon is examined by using the 2-D Lagrangean chasing simulation. The settlement distribution could be determined largely by not only flow field in this lagoon but also the timing of their return to the lagoon.

1. はじめに

生物の生息環境を保全するには、それらの生活史を考慮して、各成長段階での生息環境と物理環境の関係を定量的に把握することが重要である。本研究で対象とする干潟に暮らすカニ類の生活史は、一般に浮遊（幼生）期と底生期に大別され、浮遊期はさらにゾエア（幼生）期とメガロパ（幼生）期に分けられる。ゾエアは潮流に乗って海域へ拡散し、メガロパへ変態後、それを利用して干潟に回帰してくる。その際、幼生は周期的に水柱を鉛直移動し、潮流をうまく利用して、分散・回帰を行っていると思われる（例えば、Cronin・Forward, 1986; Leeら, 2005）。河内ら（2006）や河内・石川（2008）は、これまで、図-1に示すアンパル干潟に生息するカニ類優占種2種のコメツキガニ（*Scopimera globosa*）とミナミコメツキガニ（*Mictyris brevidactylus*）のゾエアの海域流出やメガロパの干潟への着底分布と水流の関係性について検討している。しかしながら、海域での生息域やメガロパの回帰過程については十分にわかっていない。既往の研究によれば、メガロパの回帰時期は様々であり、例えば、Charleston Harbor（South Carolina, USA）では、半月の時期に（Boylan・Wenner, 1993）、York River（Virginia, USA）では満月期に（Montfransら, 1990）、日本の瀬戸内海では新月期にメガロパの着底が報告されている（Oishi・Saigusa, 1997）。このことはメ

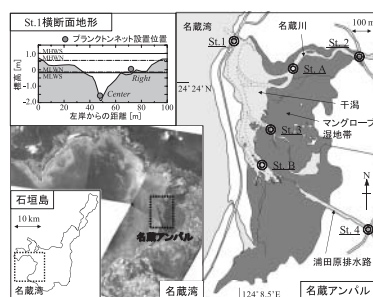


図-1 名蔵アンパル、名蔵湾の位置と水理計測地点、及びSt.1横断面地形

ガロパの回帰特性が環境条件によって異なることを示唆している。そこで本研究では、新たに2007年に行われた現地での幼生採取調査結果を基に、アンパル干潟におけるメガロパの回帰特性と潮汐や朔望、気象条件等との関係について考察した。また、そこで得られた回帰特性から海域でのメガロパの分布を推定した。さらに、数値シミュレーションで、その回帰タイミングと干潟内でのメガロパの分散、着底分布の関係について考察した。

2. メガロパのサンプリング調査

(1) サンプリング調査の概要

メガロパが、いつ、どのように干潟に回帰するかを検討するために、図-1に示す海域との接続部の流路断面（St.1; 名蔵大橋下）に口径20cm, 目合い0.1mmの北原式定量プランクトンネット（（株）田中三次郎商店製）を2基設置し、幼生を採取した。設置の詳細は、河内ら（2006）を参照されたい。既往調査より、この干潟の優占種の繁殖時期が2月～5月と推定されているため（河内ら, 2006）、本調査は2007年2月～5月の大潮、小潮など様々な潮汐条件下において、計31日間に亘って行われ

1 学生会員 修(工) 東京工業大学大学院総合理工学研究科環境理工学創造専攻
2 フェロー 工博 東京工業大学教授大学院総合理工学研究科環境理工学創造専攻
3 学(工) 国土交通省近畿地方整備局港湾空港部港湾計画課

表-1 幼生採取調査日程、及び潮汐、月齢とメガロバ採取個体数

調査日 (2007)	メガロバ採取個体数		合計数	潮汐	月齢 (朔望)
	Center	Right			
2月17日～20日	1	no data	1	大潮	29～2.5 (新月)
3月3日～7日	0	1	1	大潮	13.5～17.5 (満月)
3月11日～13日	0	no data	0	小潮	21.5～23.5 (下弦)
3月18日～21日	0	18	18	大潮	28.5～2 (新月)
4月2日～6日	1	5	6	大潮	14～18 (満月)
4月9日～11日	0	no data	0	小潮	21～23 (下弦)
4月16日～19日	11	134	145	大潮	28～1.6 (新月)
5月13日～15日	3	no data	3	中潮	25.6～27.6

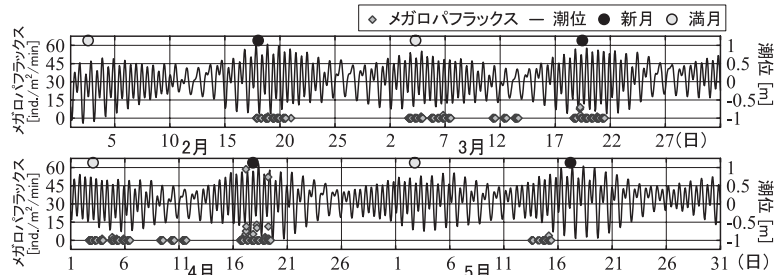


図-2 メガロバ流入フラックスと潮位の時系列、及び朔望（全採取結果）。潮位は気象庁観測値（24°20'N, 120°10'E）

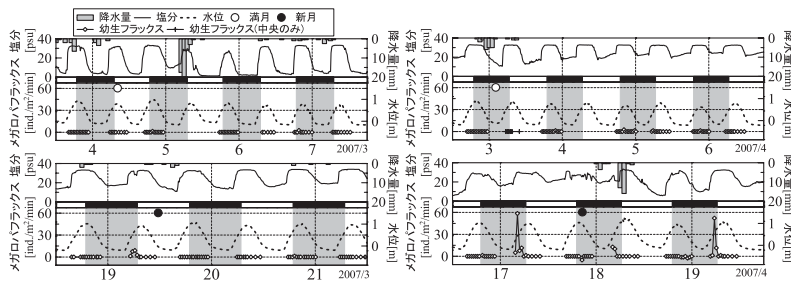


図-3 メガロバ流入フラックスと水理、降水量データの時系列。グラフ中央の白と黒の帯がそれぞれ昼と夜を表す。

た。潮流の活発な上げ潮—満潮—下げ潮の約7時間において、上げ潮時は約30分毎、下げ潮時は約60分毎にネットを揚げ降ろした。なお、対象流路断面には、水位計（HOBO Water Level Logger U20-001-01；Onset社製）、流速計（Compact-EM）、塩分水温計（Compact-CT；以上JFEアレック（株）社製）が設置され、断面流量、水位、塩分、水温（以下、水理量データ）が計測されている。サンプルは現地にて5%ホルマリンで固定し、実験室でメガロバの個体数を以下の手順により計数した。実体顕微鏡でメガロバの大きさと形態を調べたところ、肉眼でも十分計数可能であったため、その後は、透明なプラスチック板上にて肉眼で計数後、実体顕微鏡上で甲長を測定した。なお、今回の調査では、メガロバの種類を同定するには至らなかった。しかし、優占種2種の抱卵雌の出現ピーク（河内ら、2006）と浮遊期が1、2ヶ月であること（山口・田中、1974；仲宗根・赤嶺、1981）を

考慮すると、それらのメガロバである可能性が高い。

(2) サンプル調査の結果と考察

a) 潮汐条件とメガロバ流入量

表-1に調査結果を示す。2月と5月、3、4月の小潮期は、右岸側（図-1, Right）では採取していない。また、図-2には、潮位データを、図-3には3、4月の潮期の水理量データ、及び石垣島地方気象台（北緯24°20.2'，東経124°9.8'）の降水量データをそれぞれメガロバフラックスとともに示す。結果として、3、4月の新月前後の大潮期にメガロバが多く観察された。前述の通り、朔望に関わらず大潮期に多く回帰する様子は他のフィールドでも確認されているが、本干潟では、新月期に偏りを見せた。その原因として、図-3に示すように、満月期に降雨がしばしば見られたこと、未調査日があったことなどが考えられ、満月期において干潟に回帰している可能性も捨てきれない。しかし、図-2に示すように新月期の方が満月

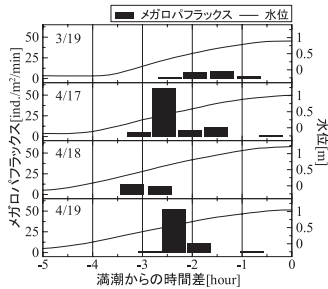


図-4 メガロパ流入フラックスとSt.1の水位時系列. 満潮からの時間差で示す.

期より潮汐振幅が大きいことが分かる. これは, 上げ潮時の潮流の駆動力に影響すると思われる. したがって, 満月期の潮汐振幅の大きさがメガロパが干潟に回帰するのに不十分であったため, 回帰数が少なくなった可能性も考えられる.

b) 幼生流入のタイミング

図-3中, 幼生が多く観測された3月19日, 4月17日から19日 (いずれも新月期) を見ると, メガロパの流入は, 未明の上げ潮期間中のある短い時間帯 (以後, 流入ピーク) に限定してみられ, 図-4に示す様に, どの場合も満潮時刻の凡そ2~3時間前であった. 図-3よりメガロパの流入ピークは流入水塊の塩分が海水と同程度の時であるので, 陸水の影響下になくある程度沖もしくは深い所の海水塊とともに, メガロパが流入してきていると考えられる.

c) 幼生の流入出とその行動特性

図-3では, 明け方だけでなく日没後にも, 数匹の幼生が採取されていることが分かる. それらは, 朔望に限らず見られている. 一方, 日中にはメガロパは採取されていない. これは, 負の走光性によるものと考えられる (Olimi, 1994). 一方, 他の種では, 概日周期をもつメガロパも報告されている (Tankersley・Forward, 1994). 今回このフィールドで採取されたメガロパは, 概日周期よりも走光性を強く持っている種であると思われる. 今後さらに, 室内飼育実験等で対象種の幼生の走光性について検討したい.

3. 海域でのメガロパの分布

(1) 生息分布の推定方法

図-3, 4に示したようにメガロパの流入が極めて短時間に集中することは, 海域における幼生の生息場所が比較的狭い範囲に限られていることを示唆している. そこで, メガロパの流入ピークまでの干潟への海水の流入量に対応する海域の体積からメガロパの移動開始地点をおおまかに検討した. 検討対象は3月19日 (海水流入量 $57,206\text{m}^3$) と4月17日 (同 $33,870\text{m}^3$) の未明の上げ潮時

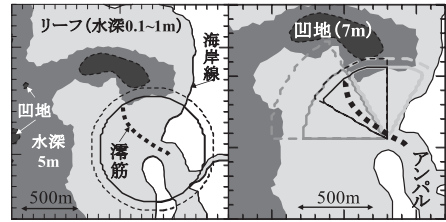


図-5 海域におけるメガロパの移動開始地点の推定領域. 左; 海水が同心円状に流入する場合, 右; 主に滞筋近傍から流入する場合 (角度 60° で3方向について算出). 実線が4月19日, 波線が3月19日の結果より推定した結果.

であり, 推定される範囲の水深は海図データ及びその直前の干潮時の潮位を基に算出した. 海水の体積はi) 同心円状に海水が干潟に流入する場合, ii) リーフ上の滞筋を含む3方向 (各々 60° 角) から流入する場合の二つを仮定して推算した.

(2) 推定結果

図-5に示すように, メガロパの移動距離は500~700mのオーダーであることがわかった. その範囲のほとんどは干潮時の水深が0.1~1m程度のリーフ上にあるが, 一部で水深5m程度との境界にかかっている. この地域は名蔵大橋下の流路から凹地への滞筋の延長線上にあり, 比較的水深も大きい. そのため, 淡水の影響も周囲の浅いリーフに比べて小さいと考えられる. したがって, メガロパは特にこの水域から干潟へ流入してきたものと考えられる.

4. メガロパの着底シミュレーション

(1) シミュレーションの概要

3次元流動モデルELCOM (Hodges, 2000) と2次元ラグランジュ的粒子追跡法 (早川ら, 1995) を用いて, メガロパが干潟に流入する時間と干潟への着底分布の関係を検討した.

まずELCOMによりメガロパが多数観測された4月17日, 19日の上潮時における干潟内非定常流動場を再現した. 開口境界条件は図-1のSt.1~4において, 上述した計器で計測されたデータを与えた. また, 干潟の外縁ではマングローブ湿地帯との境界も含めて, 垂直な固定境界を置いている.

次にSt.1から中立粒子を投入し, その水平的な軌道をラグランジュ的に追跡した. 粒子の投入時間は各日について図-6に示す様に4ケースを設定した. 各ケース30分間に30,000個 (毎分1000個) の粒子を投入した. 粒子の水平移動には, 水深平均流速と表層流速の2ケースについて行った. 後者は, 負の走光性により (Olimi, 1994), メガロパが夜間, 表層付近に浮上した場合を仮定した.

着底条件として河内・石川 (2008) より次の2つを考

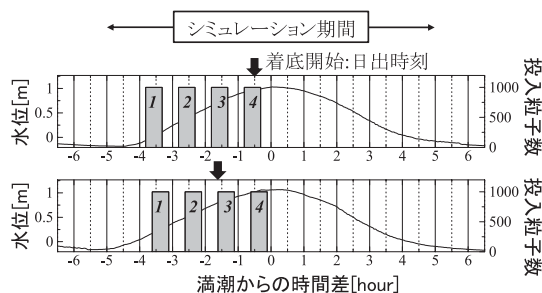


図-6 着底シミュレーションの粒子投入方法。実線はSt.1の水位を表す。棒グラフの高さが毎分の粒子投入数、幅が投入時間、数字がケース番号である。

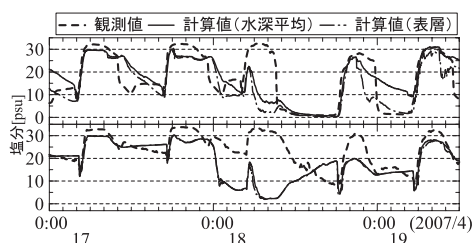


図-7 StA, B における塩分時系列の観測値と計算値

慮した。1) 流れの掃流力がメガロパの大きさと比重から計算される限界掃流力以下になったときに着底する。2) また水際での接触による着底も考え、水深が1cm未満になったら着底する。ここで、メガロパへの掃流力が再びその限界掃流力を超えた場合や水深が再び1cm以上になった場合に粒子は再度浮遊し、輸送されるものとする。なお、1) についてはメガロパの負の走光性を考慮し、日の出時刻以降に着底を開始すると仮定し、それ以降に適用することとした(図-6)。

(2) 流動場の再現性検証

流動場の再現性は、図-1に示すSt.A, Bで計測された塩分の時系列データで検証した。結果を図-7に示す。平水時については、概ね一致が見られている。一方、出水時には実際マングローブ湿地帯への流出量が大きくなるため、計算の境界条件が破綻しており誤差が大きくなっている。出水時の計算をする際には、湿地帯を考慮した計算領域、条件の設定が必要であろう。

(3) シミュレーション結果と考察

一般に、メガロパは干潟着底後直ちに脱皮を始め、稚ガニに変態する（小野，1995）．現地での観察では、コメツキガニの稚ガニは、干潮時に地表面を移動する様子が見られた．その一方で、ミナミコメツキガニの稚ガニは地表面を移動する様子が見られず、この種特有のトンネル型の摂餌形式をとっており（Takeda・Murai, 2004）．ある程度成長するまでは定住すると思われる（山口，1976）．そこで、今回は、ミナミコメツキガニの稚ガニの分布がメガロパの着底分布であると仮定し、計算対象

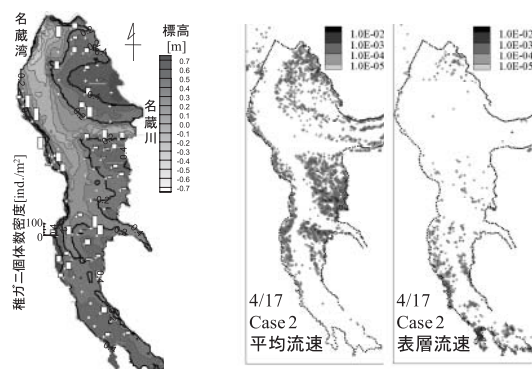


図-8 ミナミコメツキ
ガニの稚ガニ分
布（2007年5月
調査分）

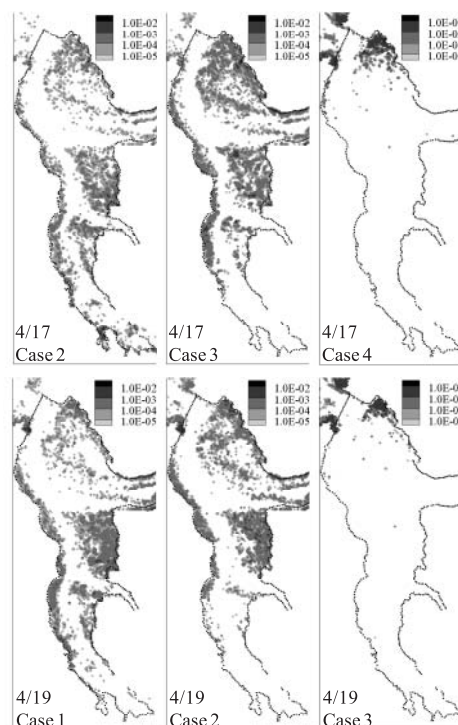


図-10 中立粒子の着底計算結果。上段; 4/17分, 下段; 4/19分。
凡例は図-9と同様。

期間の2007年4月17、19日のメガロパ着底状況を反映していると考えられる2007年5月の調査結果(図-8, 河内・石川, 2008)をシミュレーション結果と比較した。また、各日Case2がメガロパの回帰のピークであるので、これを結果比較の基準とする。

まず、図-9に4月17日の水理条件下でのCase2における、異なる流速仮定の結果を比較する。グラデーションは粒子の計算終了時の着底率[着底数/投入数]を表している。表層流速で計算した場合は、干潟南部に偏って着底

した。この分布は図-8の南部の分布傾向と似ている。これは着底開始以後、南部の流速がそれほど大きくならないため、上げ潮時に比較的大きい流速で南部に運ばれた粒子が、そのままこのエリアに着底している。一方、水深平均流速の場合は、比較的干潟の広い範囲に粒子が着底した。干潟北部の名蔵湾との接続部や名蔵川河口付近、及び西部の滞筋に沿った地域の着底分布の傾向が図-8と類似点が見られる。したがって、メガロパのその大部分は上げ潮の流れでは乱流のために鉛直方向に分散していることが示唆される。しかし、幼生が水柱のどの辺り流れるかについては、まだ検討が足りない。そのため、以降の議論では、両者の平均値を計算結果として、観測値と比較した。

図-10は、17日と19日それぞれの着底率の結果である。これらの結果は、二つの流速仮定での計算結果の平均値である。なお誌面の都合上、4月17日についてはCase1 (同日Case2と類似)、4月19日はCase4 (同日Case3と類似)の結果を省略した。Case1からCase4に行くに従って、着底分布は南から北に変化する。両日ともCase1とCase2は図-8と分布傾向に類似点が見られる。したがって、ピーク時かそれ以前に流入してきた個体によって、その着底分布の大勢が決まっていることが推測される。

一方、Case2の1時間後のCase3で比較すると、17日と19日では明らかな違いがみられる。これは、着底開始時刻の差による。17日と19日では、満潮時刻に時間差があるため、図-6に示すように19日はCase3の前に着底開始時刻を迎える。そのため、着底条件1)が働き、輸送が妨げられてしまっている。したがって17日のケースと異なり、北部の限られた場所のみにしか着底しない。したがって、もし実際に走光性がメガロパの着底に影響するならば、流入のタイミングだけでなく、日の出時刻と潮汐の関係もそれに寄与しているものと思われる。

5. まとめ

本研究の主要な結論を以下に示す。

(i) カニ類のメガロパがアンバル干潟に回帰するのは、3、4月の新月期の未明の上げ潮時であった。これは、優占種の抱卵ピーク時期の1、2か月後であった。メガロパが夜明け前に回帰するのは、それが持つ負の走光性に依っていると考えられる。(ii) 現地計測結果に基づき、メガロパの回帰行動は、干潟口から約500m先の凹地からスタートすると考えられた。この場所は、定常的な生息地もしくは沖から帰ってきた際の最終停泊地の二つの可能性がある。いずれにしてもこの場所がメガロパにとって重要かつ便利な場所ではないかと思われる。(iii) 数値計算によれば、メガロパが干潟の奥部まで広く分布するには、満潮時刻の少なくとも約2時間前までに干潟口に

到着する必要がある。現地で観測されたメガロパの到着はこの条件をちょうど満足していた。また、負の走光性を考慮すると、潮汐と日の出時刻との関係も着底分布に寄与している可能性が考えられる。

なお、本研究は河川環境管理財団のH17、18年度河川整備基金(18-1241-008, 代表者: 石川忠晴)、及び日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(S)(17106006, 代表者: 池田駿介)の助成の下で行われた。記して謝意を表する。

参考文献

- 小野勇一(1995): 干潟のカニの自然誌, 平凡社, pp. 222-223.
- 河内 敦・笹嶋悠達・入江光輝・成瀬貫・石川忠晴(2006): アンバル干潟におけるカニ類優占2種の繁殖時期の推定及び幼生放出, 海岸工学論文集, 第53巻, pp. 1051-1055.
- 河内 敦・石川忠晴(2008): 名蔵アンバル干潟におけるメガロパ幼生の着底と水流について, 海岸工学論文集, 第55巻, pp. 1151-1155.
- 仲宗根幸男・赤嶺智子(1981): ミナミコメツキガニの生殖周期と稚ガニの成長, 沖縄生物学会誌, 第19号, pp. 17-23.
- 早川典生・細山田得三・西川 誠・宝田盛康・犬飼直之(1995): ラグランジュの粒子追跡による広島湾奥部の海水交換に関する研究, 海洋開発論文集, 第11巻, pp. 103-108.
- 山口隆男・田中雅樹(1974): コメツキガニの生態I. 個体群構造の季節的变化について, Jap. J. Ecol., Vol. 24, No. 3, pp. 165-174.
- Boylan, J. M. and E. L. Wenner (1993): Settlement of brachyuran megalopae in a South Carolina, USA, estuary, Mar. Ecol. Prog. Ser., Vol. 97, pp. 237-246.
- Cronin, T. W. and Forward, R. B. Jr. (1986): Vertical migration cycles of crab larvae and their role in larval dispersal, Bulletin of marine science, Vol. 39(2), pp. 192-201.
- Hodges, Ben. R. (2000). Numerical techniques in CWR-ELCOM. Centre for Water Research, University of Western Australia. Technical Report WP 1422-BH, 37pgs.
- Lee, J. T., Coleman, R. A. and Jones, M. B. (2005): Vertical migration during tidal transport of megalopae of *Necora puber* in coastal shallow waters during daytime, Estuarine, Coastal and Shelf Science, Vol. 65, pp. 396-404.
- Montfrans, J. V., C. A. Peery and R. J. Orth (1990): Daily, monthly and annual settlement patterns by *Callinectes sapidus* and *Neopanope sayi* megalopae on artificial collectors deployed in the York River, Virginia, Bulletin of Marine Science, 46(1), pp. 214-229.
- Oishi K. and M. Saigusa (1997): Nighttime Emergence Patterns of Planktonic and Benthic Crustaceans in a Shallow Subtidal Environment, Journal of Oceanography, Vol. 53, pp. 621-622.
- Olmi, E. J. III (1994): Vertical migration of blue crab *Callinectes sapidus* megalopae: implications for transport in estuaries, Mar. Ecol. Prog. Ser., Vol. 113, pp. 39-54.
- Takeda, S. and M. Murai (2004): Microhabitat use by the soldier crab *Mictyris brevidactylus* (Brachyura, Mictyridae): interchangeability of surface and subsurface feeding through burrow structure alteration, Journal of Crustacean Biology, 24(2), pp. 327-339.
- Tankersley, R. A. and R. B. Forward, Jr. (1994): Endogenous swimming rhythms in estuarine crab megalopae: implications for flood-tide transport, Marine Biology, 118, pp. 415-423.