

野生アメリカザリガニの胃石およびキチン質基質の所持とその季節性

¹ 三橋萌樹、¹ 下岡ゆき子

¹ 帝京科学大学生命環境学部自然環境学科

Seasonality of gastrolith and chitin matrix possession of wild red swamp crayfish.

Summary

Crayfish have “gastroliths” in which calcium is deposited transiently during the molt cycle from the cuticle. In red swamp crayfish, amorphous calcium carbonate is embedded in an organic matrix composed mainly of chitin. Thus the seasonality of molting will strongly affect the number and possession rate of gastroliths in crayfish. In this study, we captured 405 wild red swamp crayfish in May–November 2014 at a small pond and stream in Tsuzuki central park, Yokohama using a net for capturing crab or a fishing line with dried squid, and analyzed the seasonality of number of gastroliths in their stomach, degree of calcification of the gastrolith in relation with the molting cycle. Among 405 crayfish, only 48 individuals had one or two gastroliths, in a biforked stomach. Gastroliths were found only in May–July and October–November, and large gastroliths were found from the individuals just before and after the molt. We also found one or two chitin matrix from the stomach of all the individuals who didn’t have gastroliths. Red swamp crayfish are important food item of fish-eating birds such as great cormorant, and their gastroliths and chitin matrix are found in the birds’ pellets. Here we propose a formula to estimate the intake of crayfish by birds using the number of gastroliths and chitin matrix found in birds’ pellets.

Keywords : red swamp crayfish, gastrolith, chitin matrix, molt, pellet, cormorant

1. はじめに

アメリカザリガニ (*Procambarus clarkii*) は、エビ目・ザリガニ下目・アメリカザリガニ科に分類されるザリガニの一種であり、アメリカ原産の外来種である。

アメリカザリガニは成長に伴って脱皮するが、脱皮前に殻などに含まれるカルシウム分を胃内に集め、キチン質の基質上に層状に炭酸カルシウムを沈着させた胃石を形成することが知られている (Shechter et al. 2008, 川井 2009)。脱皮後に胃石は脱石灰化され、新たな殻を硬く、丈夫にするのに用いられる。これに伴い、アメリカザリガニの甲殻の外観は大きく変化する。川井 (1992) はこの外観の変化を、脱皮直後から脱皮直前まで I 相から IV 相に分類した。I 相は甲殻全体が軟化している状態で脱皮直後～2 日以内、II 相は背甲側部のみが軟化している状態で脱皮 1 日後～12 日以内、III 相は背甲側部が硬化している脱皮 4 日以降の安定した状態、IV 相は体色が黒化し背甲部のみが軟化した状態で脱皮直前～2 日前であり、I 相から II 相、III 相、IV 相を経て脱皮し、脱皮後再び I 相から II 相…というように相は変化する。

胃石は胃内部に作られるため、各個体ができることのできる胃石の最大サイズは胃の大きさ、つまり体サイズに大きく影響される。Sagi et al. (2006) は

体長の個体差に左右されずに胃石の石灰化の度合いを比較する手法として、頭部先端から尾部先端までの長さである甲皮長を用いた“脱皮石灰化指数 MMI (Mineralization Molt Index)” = 胃石幅 ÷ 甲皮長を提案した。MMI 値が 0.1 以上であると胃石のカルシウム含有量が最大限に達していることを示し、脱皮前に 2 週間ほどかけて MMI は 0 から 0.15 まで上昇し、脱皮後 5 日程度で 0 まで下降する。このように胃石はアメリカザリガニの脱皮状態に関して多くの情報を有する物質であることが明らかにされてきた。

また、アメリカザリガニは鳥類の重要な食物となっていることが知られており、魚食性鳥類のペリット内残留物からその甲殻や胃石が検出される (久保 2012)。アメリカザリガニの生態系における食物としての重要性を明らかにする上で、胃石の所持数の季節性や個体差に関する知見は重要な情報となる。脱皮の頻度やサイクルは、ザリガニの体サイズや生息環境によって異なり、日本に生息する野生アメリカザリガニについては、6～10 月の高水温期に脱皮が多い (川井 1994) ことが知られている。そのため、胃石所持率には明確な季節性が存在すると予測されるが、1 個体あたり 2～3 個の胃石を所持するとの記載がある (川井 2009) のみで、その季節性や個体差については明らかになっていない。

そこで本研究では、神奈川県の小川に生息するアメリカザリガニの胃石所持数とその所持率の季節性、また脱皮サイクルとの関係を明らかにする。

2. 調査方法

調査は神奈川県横浜市都筑区の都筑中央公園の池とその周辺の小川でおこなった。この池は人工池だが、落ち葉が堆積する富栄養な池と考えられる。2014年5月～12月にかけて毎月1回の計8回、合計480匹のアメリカザリガニの採集をおこなった。調査初期の5月は釣りで捕獲したが、池に生息している個体をまんべんなく捕獲する必要があると考え、6月以降はカニ網を用いて捕獲した。調査後期の9月～12月には、個体数が減少して採集しづらくなったため、釣りとはカニ網の両方を用いて捕獲した。カニ網は45cm×52cm×20cmの籠状で、15mmの網目のものを用いた。どちらの方法でも捕獲の際の誘引物としてサキイカを使用し、カニ網の場合、カニ網内にサキイカを入れて30～40分放置した。12月はザリガニの冬眠時期に当たり、捕獲できなかった。

捕獲した480匹のうち405匹について実験室に持ち帰った後に、体重・体長・頭胸甲長を計測し、雌雄を判別した後に冷凍保存した。その後、解剖して胃内の胃石の有無と所持数、胃石の形成段階、幅、重量を計測した。石灰化した胃石を所持しない個体については、胃内のキチン質基質の有無を確認した。また、川井(1992)による体各部の特徴からの脱皮相の区別に基づいて、直接ザリガニの頭胸甲に触って硬さを確認し、脱皮相を判定した。胃石調査を行わなかった個体75匹は飼育実験等で使用した。

また、胃石を所持していた全ての個体について、脱皮石灰化指数“MMI”(Sagi et al. 2006)を算出した。胃石を2個所持していた個体については2つの胃石のうち、胃石幅の大きい方を用いてMMI値を求めた。また、採取段階で胃石が小さく割れてしまったものについては、胃石幅が計測できないため、今回は除外した。

3. 結果

3.1 胃石の所持数

胃石調査をおこなったアメリカザリガニ405匹のうち、胃石を所持していた個体は48匹のみであった。そのうち胃石を2個所持していた個体は44匹、1個所持していた個体は4匹、0個の個体が357匹と全体の88%を占めた(表1)。胃石は二股に分か

れている胃に各1個ずつ胃壁に沿って入っており、最大で計2個であり、3個所持する個体は見られなかった。また、胃石を所持していない個体のうち99%以上の個体の胃内からは、キチン質基質が胃石と同様に二股に分かれた胃内に1個ずつ、計2個見つかった(表1)。キチン質基質はカルシウムが沈着していないため、胃石に比べてもろく崩れ易い状態であった。

表1 アメリカザリガニの胃石およびキチン質基質の所持数と個体数

個体数		胃石所持数			計
		0個	1個	2個	
キチン質基質所持数	0個	0	4	44	48
	1個	3	0	0	3
	2個	354	0	0	354
計		357	4	44	405

また、川井(1992)で定義されている相ごとに胃石の所持率を求めたところ、I相で5%、II相で11%、III相で10%、IV相で50%と脱皮直前のIV相の値が突出していることがわかり、脱皮直前の時期に胃石を急速に形成していることが明らかとなった(表2)。

表2 アメリカザリガニの脱皮相と胃石の所持率

相	日数	特徴	胃石所持率 (所持個体数/全個体数)
I	脱皮後0～2日	全体的にやわらか	5.6% (3/54)
II	脱皮後1～12日	背甲やわらか	10.8% (10/93)
III	脱皮後4日～脱皮3日前	背甲硬い・体表汚れ	9.8% (23/234)
IV	脱皮2日前～脱皮	体色黒化・付属肢欠損	50.0% (12/24)

さらに月ごとに胃石所持率を求めたところ、胃石所持率は季節によって大きな違いがあることが明らかとなった(図1)。5月は73%の個体が胃石を所持しているが、6月では16%、7月では1%、8月、9月では0%と大幅に減少し、10月では33%、11月は18%と冬眠時期に向かって胃石を所持している個体が増加した。一方で、どの月においても全ての個体が胃石あるいはキチン質基質を少なくとも1個は所持している事が明らかとなった。また胃石、キチン質基質共に、1個しか所持していない個体は全体の2%に留まっていた(図1)。

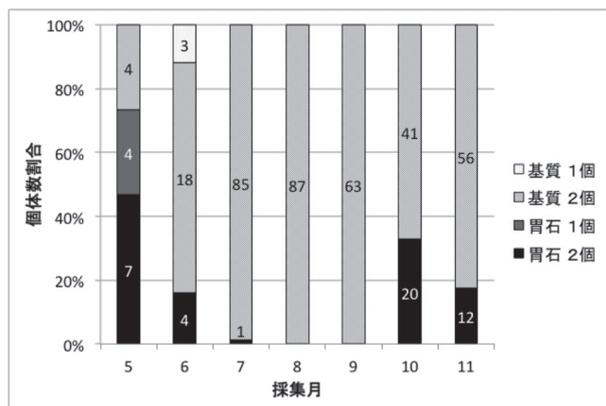


図1 アメリカザリガニの各月の胃石およびキチン質基質の所持数

3.2 胃石の形成段階

採集された胃石は、個体の大きさにかかわらず、形状・大きさ共に様々であった。キチン質基質が石灰化されて胃石が形成されていく過程を、キチン質基質を石灰化段階0として5段階に区分した(図2)。石灰化段階1では、薄い膜のような状態で、ピンセットで強くつまむと割れてしまう。石灰化段階2では、石灰化段階1に比べ若干厚みが増し中央を分割するよう一方の面に窪みが形成される。石灰化段階3では、窪みが大きく円形に広がり、さらに厚みが増す。

石灰化段階4では周縁部が厚く、最大のサイズとなり、一方の面は半球状、もう一方の面は赤血球のように中央が深く窪んだ形状となる。脱皮の後には胃石が脱石灰化され、カルシウム分が血液に再吸収されて新しい殻を硬化するのに用いられると、再び石灰化段階0のキチン質基質へと戻ると考えられた。

3.3 MMI 値

MMI 値では、胃石のカルシウム含有量が最大限に達していることを示す所定値は0.1と設定されている(Sagi et al.2006)。捕獲した48個体のMMI最大値は0.072、最小値は0.020であった(図3)。また、捕獲後に飼育した個体のうち2個体について、脱皮後10分以内に解剖し、脱皮直後の胃石計4個を採取することができた。これらの胃石のMMI値は0.091と0.097とカルシウム含有量が最大限の状態に近いものであった(図3)。さらに、捕獲した野生個体の胃石幅の平均が2.6mm(N=48, 最小1.0mm, 最大4.6mm)であったことと比べると、脱皮直後の飼育個体の胃石幅はそれぞれ8.0mm、7.0mmと非常に大きく、脱皮相の進行に伴って、炭酸カルシウムが徐々に沈着し、脱皮時に最大に達することが確認できた。

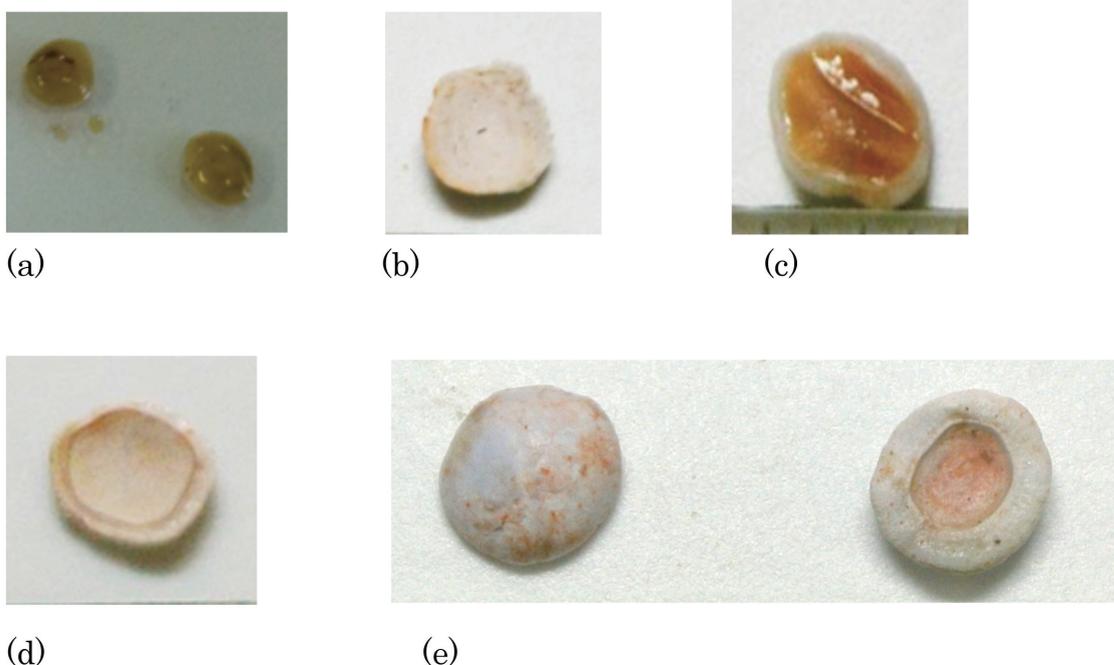


図2 アメリカザリガニの胃内部から見つかった各石灰化段階の胃石

(a) 石灰化段階0: 薄い膜に包まれぶよぶよとしている(キチン質基質)、(b) 石灰化段階1: 薄い膜状、(c) 石灰化段階2: 厚みが増し、中央を分割する窪みが形成される、(d) 石灰化段階3: さらに厚みが増し、窪みが円形に広がる、(e) 石灰化段階4: 周縁部が厚く大きくなり、一方の面に深い窪みができる

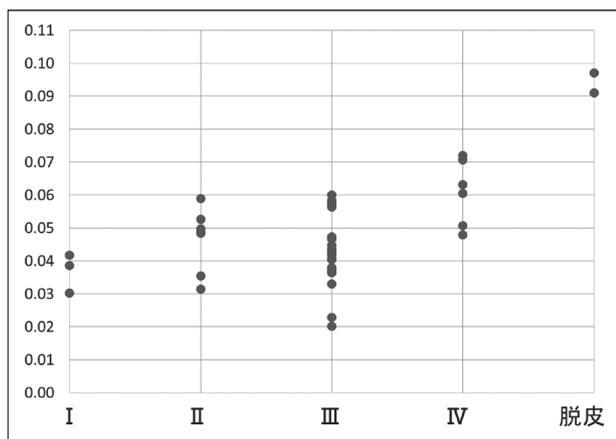


図3 胃石を所持していた野生48個体および飼育した脱皮直後の2個体の各脱皮相におけるMMI値

4. 考察

4.1 胃石の所持数と季節性について

本研究により、1) 石灰化した胃石の所持数は0～2個である、2) 石灰化した胃石は脱皮直前直後の個体が所持している、3) 石灰化した胃石の所持には季節性が見られる、4) 石灰化した胃石を所持しない個体もキチン質基質を1～2個所持する、の4点が明らかとなった。

アメリカザリガニは水温の変化に伴って脱皮するとされているので、季節の変わり目、水温の変化が出ている時期に胃石所持率が大きく変化したと考えられる。飼育していた個体でも、暖房の設定温度を変えて室温が10℃程度上昇した直後に7匹中4匹が一斉に脱皮したことから、水温の変化で脱皮が誘発された可能性が高いと考えられた。胃石の所持が脱皮と関連していることから、胃石形成は季節によっても生息環境によっても左右され、気候の年変動や生息場所の栄養状態や水温によって、同じ月でも胃石の所持率は異なることが予想される。

本研究で石灰化した胃石が採取されたのは、5～12月のうち5、10、11月の3ヶ月だけであったが、久保(2012)では埼玉県森林公園に生息するカワウのペリットから、アメリカザリガニの胃石が6～10月に見つかっている。8～9月にはやや少なめとなるものの、6～7月に多く見つかっていること、そのほとんどが石灰化段階4の大きな胃石で、脱皮の直前か直後のものと推定されることから、カワウの採餌場所となった地域ではアメリカザリガニの脱皮時期に本調査地とは大きな違いがあると考えられる。

4.2 鳥類のペリット内の胃石による、アメリカザリガニの摂食数推定

本研究の結果により、鳥類のペリットから検出される石灰化した胃石だけを用いてアメリカザリガニの摂食数推定をおこなうと、季節や生息場所によって大きな推定誤差が生じることが明らかとなった。一方で、キチン質基質が石灰化した胃石と同様にペリット内に残存すれば、摂食数の推定はかなり高い精度で可能となると考えられた。

そこで久保(2012)が採集した野生カワウのペリット内容物を確認したところ、キチン質基質がペリット内から採集されること、さらに胃石としてではなく、小さ過ぎて種の同定が不可能な“耳石A”としてカウントされていたことが明らかとなった。

ペリット中のアメリカザリガニの胃石のみを用いて摂食数推定する場合には、胃石所持率の季節変動が大きな問題点となるといえる。久保(2012)では

$$\text{個体数} = \text{胃石数} / 3$$

という式を用いて算出していたが、本研究の結果からこれには大きな推定誤差を伴うことが明らかとなった。一方で、キチン質基質もペリット内に見いだされることが、胃石とキチン質基質をあわせて2個所持することが全体の98.2%の個体にいえることから、

$$\text{個体数} = \text{胃石数} / 2 + \text{キチン質基質数} / 2$$

という式を用いて算出できることが本研究によって明らかとなった。ただし、胃石やキチン質基質1個しか所持しない個体は全体のわずか1.7%であることから、これらの個数が奇数の場合は、この計算における“胃石数/2”と“キチン質基質数/2”の小数点以下は繰り上げを行う必要がある。

この推定を用いて久保(2012)の結果を月ごとに再計算して集計すると、2年間を通してカワウの食物に占めるアメリカザリガニの割合が、以前の推定式から求められた31%から55%へと大幅に増大することが明らかとなった(表3)。この摂食数推定の式は、カワウのみならず、アメリカザリガニを丸ごと捕食するような鳥類の食性の研究において汎用性があるものと考えて良いだろう。

また、カワウのペリットから採集された石灰化した胃石のサイズはいずれも大きく、アメリカザリガニ全体に占める脱皮直前直後の個体の少なさに対し、カワウが捕食したアメリカザリガニ全体に占める脱皮直

表3 久保(2012)によるカワウのペリット内に見いだされたアメリカザリガニの胃石数とキチン質基質数、それらを元に推定されるアメリカザリガニの推定摂食数およびカワウの食物に占める割合の再評価

年度	カワウのペリット内の個数		久保(2012)		本研究の結果を踏まえた再評価	
	石灰化した胃石数	キチン質基質数	推定摂食数	カワウの食物に占める割合	推定摂食数	カワウの食物に占める割合
2011	138	40	50	41%	92	64%
2012	47	32	16	18%	41	41%
合計	185	72	66	31%	133	55%

前直後の個体の多さが目立つことも明らかとなった。脱皮直後のザリガニは外皮がとても柔らかいため、捕獲したアメリカザリガニを丸呑みにするカワウは、脱皮直後の外皮が柔らかい個体を好んで捕食している可能性が高いと考えられる。捕食される側の個体の生態、形態についての基礎研究の重要性も本研究によって改めて明らかとなったといえるだろう。

5. 謝辞

本研究をおこなうにあたり、2012年度修士課程卒業生の久保由布子さんから多くの助言を頂きました。また2014年度研究室の皆さんには、アメリカザリガニの捕獲、解剖、飼育の全てにおいてご支援頂きました。2名の匿名の査読者の方々には大変丁寧かつ的確なコメントを頂きました。皆様に感謝申し上げます。

6. 引用文献

- 川井唯史：飼育下におけるザリガニ *Cambaroides japonicus* (De HAAN, 1841) の脱皮に伴う体格部の変化. *甲殻類の研究* 21, 1992, pp.89-9.
- A. Shechter, A. Berman, A. Singer, A. Freiman, M. Grinstein, J. Erez, E. Aflalo, A. Sagi : Reciprocal changes in calcification of the gastrolith and cuticle during the molt cycle of the red claw crayfish *Cherax quadricarinatus*. *The Biological Bulletin*, 214 (2) . 2008. pp122-134.
- 川井唯史：ザリガニニホン・アメリカ・ウチダ, 岩波書店, 東京, 2009.
- A. Sagi, A. Berman, Y. Ben : Orally-administrable compositions comprising stable amorphous calcium carbonate. *U.S. Patent Application 11/604, 006*, 2006.
- 久保由布子：国営武蔵丘陵森林公園に生息する、被害防除対象となったカワウ (*Phalacrocorax carbo*) の個体数変動と食性について. 帝京科学大学環境マテリアル専攻修士論文, 2012.
- 川井唯史, 浜野龍夫, 松浦修平：北海道の小川と小湖におけるザリガニ *Cambaroides japonicus* の脱皮時期と繁殖周期. *水産増殖*, 42 (3) . 1994. pp465-470.