

# 博 士 論 文

北陸地方における淡水性カメ類の生態

—特に外来種の侵入が群集構造に与える影響について—

金沢大学大学院自然科学研究科

自然システム学専攻

学 籍 番 号	1424062018
氏 名	野田 英樹
主任指導教官名	大河原恭祐
提 出 年 月	2018 年 6 月

# 目次

序文 .....	1
1. 侵入種が生態系に与える影響.....	1
2. 日本産淡水性カメ類について.....	2
3. 外来種ミシシippアカミミガメの侵入と生態系への影響.....	2
4. 本研究の目的.....	3
材料と方法 .....	5
研究対象.....	5
ミシシippアカミミガメ <i>Trachemys scripta elegans</i> .....	5
クサガメ <i>Mauremys reevesii</i> .....	5
ニホンイシガメ <i>Mauremys japonica</i> .....	5
調査地.....	6
研究方法.....	7
1. 北陸地域における淡水性カメ類の種類相と密度調査.....	7
(1) 野外での捕獲調査 .....	7
(2) 捕獲個体の形態的特徴の観察と個体識別 .....	7
(3) 標識再捕法による個体数推定.....	8
(4) 金沢市、加賀市周辺の淡水性カメ類の水平分布調査.....	8
2. アカミミガメが他種に及ぼす効果の検証実験.....	9
(1) 実験用飼育ケージの設置.....	9
(2) 実験材料と実験設定 .....	9
(3) 実験期間中の個体の計測と観察 .....	9
3. 金沢市におけるアカミミガメの水平分布予測.....	10
(1) 一般化線形混合モデルによる個体数推定式の作成 .....	10
(2) 金沢市周辺のアカミミガメ水平分布の予測地図作成.....	10
結果 .....	11
1. 北陸地域における淡水性カメ類の群集構成と個体群の特徴について.....	11
(1) 2015-2017年の金沢市と加賀市の湖沼における群集構成.....	11
(2) 各種の水平分布とその重複について .....	11
(3) 2001-2003年と2015-2017年の群集構成の比較 .....	12
(4) 河北潟のアカミミガメ個体群の特徴の変化 .....	12

2. アカミミガメが他種に及ぼす効果について.....	13
(1) 野外飼育実験による効果の検証 -イシガメに対する効果-	13
(2) 野外飼育実験による効果の検証 -クサガメに対する効果-	13
(3) クサガメの野外個体群に与える効果について .....	14
3. 金沢市におけるアカミミガメの水平分布予測.....	14
考 察 .....	16
1. 北陸地方における侵入種と在来種の分布とその変遷.....	16
2. アカミミガメがイシガメとクサガメに与える影響.....	18
3. アカミミガメ個体群の特徴の変遷とそれに伴う群集構造の変化について	19
4. 水平分布予測から考えられるミシシippアカミミガメの駆除方策につい	21
て.....	21
Abstract .....	23
要旨 .....	25
謝辞 .....	26
引用文献.....	27

図 23 枚

表 6 枚

## 序文

### 1. 侵入種が生態系に与える影響

地球規模で人間活動が活発になるに伴い、様々な生物が、意図的、非意図的に本来の生息地以外の場所に持ち込まれ、定着している。これらの生物種は外来種と呼ばれ、様々な問題を引き起こしている。最も心配されている影響は、生態系への影響であり、たとえばヤギ *Capra hircus* が島嶼に持ち込まれたことで、在来植物が食べつくされ、植生崩壊から土壌流出を引き起こし、島固有の生態系が失われてしまうことがある（常田 2002）。ルアーフィッシング目的で移入されたオオクチバス *Micropterus salmoides* やブルーギル *Lepomis macrochirus* が、在来水生生物を捕食し、水圏生態系に悪影響を与えている例は有名である（淀 2002, 中井 2002）。小笠原諸島に侵入したグリーンアノール *Anolis carolinensis* は、在来昆虫を捕食するほか、在来種オガサワラトカゲ *Cryptoblepharus boutonii nigropunctatus* と競合し幼体を捕食することもあり、更には本種を餌にする高次捕食者が増加するなどして、島の生態系全体が悪影響を受けることが懸念されている。（太田 2002）

近縁種が侵入することによる遺伝子の攪乱も起きており、展示用や実験用に持ち込まれたタイワンザル *Macaca cyclopis* やアカゲザル *M. mulatta* がニホンザル *M. fuscata* と交雑することにより、地域の純粋なニホンザルに遺伝子汚染を引き起こしている例や（仲谷・前川 2002）、食用、ペットとして持ち込まれたチュウゴクオオサンショウウオ *Andrias davidianus* は、国の特別天然記念物であるオオサンショウウオ *A. japonicus* と交雑し、純粋なオオサンショウウオを危機的な状況へ追いやっている。オオサンショウウオの場合は外見からの交雑の判定が難しいほか、交雑個体であっても種の保存法が適用されるため、その対応の難しさが指摘されている（戸田 2011）。

人間活動が生み出した外来種が、ヒトにとっても悪影響を及ぼす例も多く知られている。第一次産業への影響として、ヌートリア *Myocastor coypus* による圃場や水路の破壊（村上 2002）、アライグマ *Procyon lotor* による農作物への被害（池田 2002）、タイワンリス *Callosciurus erythraeus taiwanensis* による林業被害（田村 2002）、オオクチバスによる漁業被害など、あらゆる一次産業が外来種により影響を受けている。また、直接的にヒトに危害を及ぼす例も増えてきており、アライグマによる狂犬病の媒介や、セアカゴケグモ *Latrodectus hasseltii*（夏原・西川 2002）による咬傷被害は、今後拡大していく恐れがあると考えられている。

爬虫類の場合も、関東地方では北米原産のカミツキガメ *Chelydra serpentina* の定着が確認され、現在のところ人的被害は確認されていないものの、在来生態系に悪影響を与えるのではないかと懸念されている（安川 2002）。

## 2. 日本産淡水性カメ類について

日本には6種の淡水性カメ類が生息しており、そのうち南西諸島に産するヤエヤマセマルハコガメ *Cuora flavomarginata evelynae*、ヤエヤマイシガメ *Mauremys mutica kami*、リュウキュウヤマガメ *Geoemyda japonica* を除く3種、ニホンイシガメ *M. japonica*、クサガメ *M. reevesii*、ニホンスッポン *Pelodiscus sinensis* が本州に分布している(安川 2017)。石川県を中心とした北陸地方にはそのうち、ニホンイシガメ(以下イシガメ)、クサガメ、ニホンスッポン、の3種の分布が確認されており、特にイシガメ、クサガメの2種は在来種としては優占的である。イシガメは日本固有種であり、九州から東北地方まで生息が確認されているが、新潟県では詳細な調査報告がなされておらず、また富山県ではほぼ絶滅したと考えられているが、これらの地方でも一部の水域で生息が確認されている(富山市科学館 私信)。分布域が広いため種としての絶滅の恐れは低いが、地域個体群レベルでは絶滅が心配されており、環境省のレッドデータブックでは準絶滅危惧(N2)にカテゴリーされている。また、近年のアジア産カメのペット需要増加に伴う過剰輸出への対策として、2013年にワシントン条約付属書IIに掲載され、背甲長100mm以下の個体の輸出に制限がかけられた(環境省 2015b)。石川県、福井県では、山間部のため池や清流部を中心に広く分布しているが、ため池の減少や乱獲により、地域個体群の消失が危惧されている(長谷川 2002)。さらに外来性の捕食者であるアライグマによるイシガメの捕食被害も増大しており(小菅・小林 2015, 鈴木ら 2015b)、北陸地方への分布拡大が本種に影響を与えると懸念されている。兵庫県や大阪府では、市民グループなどが中心となり、本種の保護を目的とした侵入種を排除する活動も始められている(亀崎 2015)。

クサガメは福井県から新潟県の標高の低い湿地環境に広く分布しており、平地のため池や用水、また市街地の公園などにも生息している(矢部 2002, 小菅ら 2003)。本種は本来、日本の在来種として保全の対象になっていたが、遺伝学的、および考古学的な研究により、江戸時代初期に大陸より持ち込まれたという説が有力になっている(Suzuki et al. 2011)。しかし、移入から150年以上が経過しており、現在の外来性侵入種の指定要領からも本種はそれに該当しない(村上・鷲谷 2002)。また中国や朝鮮半島では乱獲によって本種個体群が高頻度で絶滅しており、そうした観点からも国内の個体群の保護の重要性が主張されている(安川 2007b)。

## 3. 外来種ミシシippアカミミガメの侵入と生態系への影響

北陸地方には外来種であるミシシippアカミミガメ *Trachemys scripta elegans* も広く分布している(以下、本種をアカミミガメと適宜省略して記述する)。本種は代表的な外来性の水生動物の1つで、原産地のアメリカ合衆国のミシシipp州から、人為的活動を通じて全世界的に分布を拡大、在来の水生動物の個体群や群集、生態系に大きな影響を与えている(Lever 2003)。ヨーロッパ、スペインやイタリアでは、本種の侵入によって

湖沼に生息するヨーロッパヌマガメ *Emys orbicularis* やスペインイシガメ *M. leprosa leprosa* など外来種の個体数が減少している (Cadi and Joly 2003; 2004, Polo-Cavia et al. 2009; 2011)。また原産国であるアメリカ合衆国でも、国内移入種として他の地域の在来生態系に影響を及ぼしており (Pearson et al. 2013, Stone 2010)、キタアカハラガメ *Pseudemys rubriventris* と本種の間には資源や日光浴場所をめぐる種間競争があることが観察されている (Pearson et al. 2015)。日本でも本種の侵入によって在来種や他の水生動物が減少する事例が報告されており、京都市南区の東寺では 1972 年には数多くみられたイシガメが、アカミミガメ侵入後の 2014 年には著しく個体数が減少していた (鈴木ら 2015a)。京都府南部の溜池では、1999 年の野外調査では本種はほとんど捕獲されなかったが、2016 年には捕獲個体の 50% を占め、イシガメの個体数が著しく減少していた (多田ら 2016)。また水生の甲殻類や貝類、魚類や鳥類を捕食し、湖沼の食物網や生態系にも影響を与えている可能性が高い (野田・鎌田 2004, 亀崎 2015)。さらにハスやイネの食害や水田の畦の破壊、養殖池の稚魚の捕食など、農業・漁業活動への被害も報告されている (永原 2011, 加藤 2016)。

アカミミガメが侵入と拡大を成功させる要因として、まず種間競争に強い点が挙げられる (Cadi and Joly 2003)。幅広い動物質や植物質を摂食することが知られており (三根ら 2014)、中国では、アカミミガメの侵入により在来のハナガメ *M. sinensis* の食性が変化したと報告されている (Jian et al. 2013)。また湖沼でのバスキング (日光浴) をする場所をめぐる直接的な競争にも強く、日光浴場所を本種に占められてしまうため、在来種がバスキングをする頻度が低くなることが観察されている (Pearson et al. 2015)。さらに在来種に対し直接的な干渉も行う。異種個体に対して攻撃的に反応し、本種とともに飼育されたイシガメやクサガメは尾をかじられることが知られている (野田私信)。またアカミミガメは増殖力が非常に高く、これは侵入種が持つ特徴の 1 つである。イシガメのクラッチサイズが平均 6.35 個 (2-9 個) で産卵回数が 1-2 回である (石原 1986, 矢部 1991) のに対し、アカミミガメは平均 11.2 個の卵を春～秋に 2-3 回産卵する (大家・小西, 2014)。姫路市立水族館では、1976 年から 2015 年までの飼育下の淡水ガメの産卵記録から、アカミミガメの産卵期間 (平均 89 日) がイシガメ (62 日) やクサガメ (69 日) よりも長く、産卵数のピークについてもアカミミガメ (8~12 個) がイシガメ (6~8 個) やクサガメ (6~8 個) よりも多いことが報告されている (竹田 2017)。さらに多様な環境への耐久性も高く、イシガメでは生存できないような富栄養化の進んだ水質でも生きられる (安川 2007a)。

#### 4. 本研究の目的

アカミミガメは世界の侵略的外来種ワースト 100 に指定され、日本でも外来生物法に基づき環境省の生態系被害防止外来種に指定されている (環境省 2015a)。そのため、その防除政策が多くの国で実施されており、その駆除方法なども試行、実践されてきて

いる (Pablo et al. 2017)。主に餌を用いたベイトトラップで捕獲する方法と、日光浴をする習性を利用したバスキングトラップの2種類の捕獲装置が考案されている (*Trachemys scripta elegans* (Red-eared Slider) Management Information)。日本においても一部の地域では積極的な駆除が始まっている (亀崎 2015)。

こうした駆除や防除には本種の個体群が野外でどのように分布、生活しているかを把握する必要があり、また個体群の特徴、年齢構成や繁殖構造、資源利用形態、さらに遺伝的構造などの情報も重要となる。しかし、国内で本種の地域への侵入と分布拡大の過程をモニタリングした事例は少なく、その個体群動態や個体群の特性が侵入後にどのように変化するか、そうした長期的観察も行われていない。さらにアカミミガメ個体群が、主な在来種であるイシガメやクサガメの個体群に具体的にどのような効果を与えているか、その検証もされていない。

北陸地方におけるアカミミガメ防除の保全研究として、調査者は 2001 年から金沢市から加賀市の湖沼で淡水性種の群集と分布について野外調査を行ってきた (野田・鎌田 2004)。本研究はその一環として、2015 年から、1. 金沢市におけるアカミミガメと他の在来種の分布と個体群の特徴を調べ、2. 過去の個体群データと比較し、アカミミガメ個体群の特徴にどのような変化が起きているかを調べた。さらに 3. アカミミガメ個体群が在来種、イシガメとクサガメに実際にどのような影響を与えているかを野外飼育実験によって検証した。最後に効果的な防除策の確立を目的に、金沢市周辺をモデル地区とし、4. 野外のアカミミガメ個体群の分布から個体の移動と個体群の拡大の予測を試みた。

## 材料と方法

### 研究対象

石川県ではアカミミガメ、イシガメ、クサガメ、スッポンの4種の淡水性カメ類が確認されている（図1）。本研究では以下の3種を材料とした。

#### ミシシippアカミミガメ *Trachemys scripta elegans*

アカミミガメはカメ目ヌマガメ科アカミミガメ属に分類されるアメリカ合衆国原産の外来種で、最大甲長 280 mm の半水生種である。本来の分布域は、アメリカ合衆国南部のニューメキシコ州からアラバマ州にかけてと、メキシコ北東部の国境地帯である。河川、湖沼、人工的な池や水路、湿地や沼沢地など様々な水域に生息し、底質が柔らかく、水生植物が繁茂する、日光浴に適した陸場の多い緩やかな流れを好む。背甲の色は、幼体時は緑色だが、成長に伴い濃緑色から黒色になり、個体によっては黄色の模様が入る。腹甲は黄色地に黒色の斑点が入り、肢や尾は濃緑色に黄色い筋状の模様が入っている。頭部は名前の由来となった赤色の模様とともに黄色の筋状の模様がある。縁甲板は鋸状になっており、背甲には明瞭なキールはない（図1C）。アカミミガメのオス個体は成熟すると黒色に変わり、メラニズムを起こすことが知られており、背甲および首の模様が黒色の個体を黒化個体として扱った（図2B）。キバラガメ *T. s. scripta* はアカミミガメの基亜種であり、最大甲長 270 mm となる（図2C、D）。アメリカ合衆国南西部の大西洋岸とフロリダ州北西部のメキシコ湾岸に分布し、比較的規模の大きな河川を中心に生息するが、周辺の湖沼や河跡湖、水たまり等にも姿を見せる。生態的にも形態的にもミシシippアカミミガメとよく似ているが、キバラガメは側頭部の斑紋が黄色く縦長で、腹甲の暗色斑は喉甲板だけにある。日本国内にも比較的多数輸入され、ミシシippアカミミガメほどではないが安価に販売されている（安川 2005）。

#### クサガメ *Mauremys reevesii*

クサガメはカメ目イシガメ科イシガメ属のカメで日本、中国、韓国を中心に東アジア一帯に分布しており、最大甲長 300 mm の半水生種である。食性は動物食性の強い雑食性であり、咀嚼筋が発達し、かたい殻を持つ貝類や甲殻類を食べるために適応していると考えられている。背甲は茶色がかっており、腹甲は黒、肢や尾も黒色の鱗でおおわれているが、首の周りに黄色い模様がある。縁甲板は鋸状にならず、背甲は俵型をしている。椎甲板と肋甲板に3本のキールがある（図1B）。またクサガメとイシガメの交雑個体も確認されており、両種の特徴を備えている。本研究ではキールが3本あり縁甲板が鋸状になったものをイシガメとクサガメの交雑個体として扱った（図2A）。

#### ニホンイシガメ *Mauremys japonica*

イシガメはカメ目イシガメ科イシガメ属の日本固有種で、オスの最大甲長 135 mm、



メスの最大甲長 220 mm の半水生種である。本州、四国、九州と周辺の島嶼に分布している。食性は雑食性で、植物質から動物質まで幅広く採食している。クサガメと比較すると陸上で餌を食べる傾向が強いとされている。背甲はオレンジがかかった茶色で、腹甲は黒、肢や尾も黒色の鱗で覆われている。縁甲板は鋸状になっており、肋甲板には明瞭なキールはない (図 1C)。

## 調査地

調査地として金沢市・津幡町の調査地 A (河北潟)、金沢市の B (俵大池)、C (中山池)、加賀市の D (富塚池)、E (作見池)、F (片野鴨池) を設定した (図 3)。各地の特徴は以下の通り。

### A 河北潟 (北緯 36° 41' 37" 東経 136° 41' 00"、標高 0.6 m、面積 21600 m<sup>2</sup>)

河北潟干拓地の主要水路の 1 つである西部承水路。コンクリート護岸であるが、堆積物による中洲が多くみられ、アシやガマなどの抽水植物が繁茂している。近隣の農業排水、畜産排水、生活排水が流入しているため、水の透明度は一年を通して低い。周辺にはサギ類やカモ類などの野鳥も多くみられる。

### B 俵大池 (北緯 36° 31' 55" 東経 136° 43' 54"、標高 240 m、面積 20142 m<sup>2</sup>)

農業用ため池で古くから灌漑用に利用されており、一部の堤部がコンクリートなどで護岸されているが、大部分は自然岸であり、アシやガマなどの抽水植物が密生している。夏期にはヒシなどの沈水植物も繁茂する。雪解け水が流入しており、水質は良好であるが、夏期は植物プランクトンが大量に発生する。

### C 中山池 (北緯 36° 32' 06" 東経 136° 43' 15"、標高 220 m、面積 2777 m<sup>2</sup>)

二つの堤が連なった農業用ため池で、谷をせき止めて作られている。堤はコンクリート護岸であるが、それ以外は自然岸であり、浅い部分にはアシやガマなどの抽水性植物もある。この池は中山町農業生産組合によって管理されており、2003 年以降は一般人の立入は禁止されている。

### D 富塚池 (北緯 36° 19' 39" 東経 136° 21' 27"、標高 36 m、面積 3014 m<sup>2</sup>)

加賀市の住宅街と森林に囲まれた農業用ため池で、二つの堤によって水がせき止められている。下の堤はコンクリート護岸が多く、上の堤は大部分が自然岸となっている。

### E 作見池 (北緯 36° 19' 42" 東経 136° 21' 10"、標高 40 m、面積 5005 m<sup>2</sup>)

2 つの堤によって水がせき止められた農業用ため池で、堤部を除く大部分が自然岸となっている。

### F 片野鴨池 (北緯 36° 19' 18" 東経 136° 17' 22"、標高 10 m、面積 17456 m<sup>2</sup>)

ラムサール条約登録湿地の 1 つで水鳥類の渡りの中継地、越冬地になっている。自然護岸で多くの水生植物が繁茂している。農業用ため池であるが、鳥類保護のため加

賀市によって管理され一般人の立ち入りが制限されている。

## 研究方法

### 1. 北陸地域における淡水性カメ類の種類相と密度調査

#### (1) 野外での捕獲調査

金沢市と加賀市の淡水性カメ類の種類相と密度を調べるため、罝を使用した捕獲調査を6カ所の調査地において実施した。捕獲用の罝として市販のカニカゴ罝(高さ200 mm、長さ600 mm、奥行き400 mm)を使用した(図4A)。ビニル被膜した針金のフレームに10 mm メッシュの網が張っており、漏斗構造によって一度入ったカメが出られない仕組みになっている(図4B)。内部に10 mm メッシュの網袋があり、そこに誘因用餌としてサバの頭などを入れた。この罝を調査地点の深さ0.5 m以上の止水域に水没させ設置した(図4C)。長時間水中に設置すると捕獲された個体が溺死するため、カゴの側面にペットボトルや漁業用の浮きを装着し、呼吸ができるようにした。また水面に浮かべた罝が流されないように、ロープで岸辺の木などに括り付けた。1カ所の調査地で5-15個の罝を1-5日間継続して設置した。罝は20 m以上離して設置し、設置期間中は毎日罝を回収し、捕獲されたカメ類の種類とその個体数、その他に捕獲された生物種を確認した(図4D)。この捕獲調査はカメが活動する4月から10月の間に行い、調査地A、B、Cでは2001-2003年、2013年、2015-2017年に、調査地D、E、Fでは2001-2003年、2015年に実施した。

#### (2) 捕獲個体の形態的特徴の観察と個体識別

捕獲されたカメ個体は種類を同定後、計測による形態的特徴の観察を行った。ノギスを用いて個体ごとに、背甲長(CL)、腹甲長(PL)、最大甲幅(CW)、最大甲高(CH)、体重(BW)を計測、記録した。また性別を総排泄口の位置と総排泄口基部の膨らみ具合によって判定した。オスは総排泄口が背甲よりも尾の先端側に位置し、総排泄口基部が膨らんでいる。またアカミミガメの場合は前肢の爪の長さも判定に用いた(Ernst and Barbour 1989)。さらに個体の齢を甲板に刻まれた年輪数で査定し、摩耗により年輪を読み取れなかった場合は老齢個体として扱った。また甲長100 mm未満で性別が不明な個体は幼体として扱った。また体色や模様など色彩形態に関する特徴も個体ごとに記録し、特にクサガメとアカミミガメでは、オスの老齢個体が黒化することが知られているため(Ernst and Barbour 1989)、黒化の有無も記録した。形態的特徴を記録した後、個体識別のため標識処理を施した。縁甲板に番号を割り当て、各縁甲板にドリルで穴を開けて、縁甲板番号の組み合わせから個体番号を決定した。また、全ての個体の背甲側、腹甲側、頭部の写真撮影を行ない、再捕獲個体のうち、縁甲板の欠落による個体識別不能個体については、過去の写真データから個体番号を確認できるようにした。これらの観察、処理後に全ての個体は捕獲地点で放流した。

### (3) 標識再捕法による個体数推定

2015年の調査地Aではアカミミガメの密度を標識再捕法に基づくPetersen法とJolly-seber法を用いて推定した。Petersen法は推定個体数 $N$ が以下の式(1)によって算出される。

$$N = \frac{Mn}{m} \text{ ----- (1)}$$

ここで $M$ は標識個体の数、 $n$ は再捕獲された個体数、 $m$ は再捕獲された標識個体の数である。Jolly-seber法は $i$ 時点での推定個体数 $N_i$ が以下の式(2)によって算出される。

$$N_i = \frac{M_i n_i}{m_i} \text{ ----- (2)}$$

ここで $M_i$ は時点 $i$ で存在する標識個体の総数の推定値であり式(3)で算出される。

$$M_i = \frac{z_i s_i}{r_i + m_i} \text{ ----- (3)}$$

ここで $z_i$ は $i$ 時点で存在したマーク個体のうち $i+1$ 時点では捕獲されず、 $i+1$ 以降の調査で捕獲された個体の数、 $r_i$ は時点 $i$ で放逐された $s_i$ 個体のうち $i+1$ 以後の調査で捕獲された個体の数である。調査地間での種構成の割合の年間比較には $\chi^2$ 検定を用いた。

### (4) 金沢市、加賀市周辺の淡水性カメ類の水平分布調査

金沢市周辺の淡水性カメ類の分布と共にアカミミガメの分布を決める環境要因を調べるため、野外センサスを行った。この調査は2016年と2017年の5月から8月にかけて行った。カメ類が生息していると思われる水系環境、特に湖沼、溜池、河川、水路などを選び、視界が開けてカメ類を発見しやすい場所を観察地点として選定した。直接の観察や散策が困難である地域や水田地帯は観察地点から除外した。各地点は緯度、経度、標高を記録した後、10分間、双眼鏡やプロミナーで水面や岸などを探し、泳行したり、バスキングをしている個体を探索した。発見時にはその種類、個体数、行動を記録し、また他の動物類、鳥類や魚類についても発見した場合は記録をした。

調査地点のうち河川部64カ所については地理条件を調べた。各地点の護岸の状況や植生状況、また大まかな水深も記録し、それは3ランク(1: 10-20 cm, 2: 20-50 cm, 3: 50 cm以上)に分類した。さらにデジタル地理データを利用し、河川の観察地点について川幅や河口からの距離と地点までの堰の数も地図上で計測した。

## 2. アカミミガメが他種に及ぼす効果の検証実験

### (1) 実験用飼育ケージの設置

アカミミガメが在来種に及ぼす具体的な効果を調べ、検証するため野外での飼育実験を行った。実験は石川県能美市徳山町のいしかわ動物園内の調整池（北緯 36°26'01" 東経 136° 32' 49"、標高 49 m、面積 4464 m<sup>2</sup>）で行った。この調整池は谷をせき止めた池であり、堤はコンクリート護岸であるが、岸の大半は自然岸である。この池に飼育ケージを設置した。ケージのサイズは縦 1 m × 幅 1 m × 高さ 50 cm であり、樹脂製枠に 20 mm メッシュの金網を張ってある（図 5A）。ケージにはペットボトルを利用した浮きを装着しケージが半分水面より出る位置に調節した。また流されないようにロープで岸に係留した（図 5B）。さらに内部には 39 cm × 19 cm × 10 cm のブロック型発泡スチロールを入れてバスキング用の場所とした。このケージは 3 基作成、設置した。

### (2) 実験材料と実験設定

アカミミガメの効果を調べるための実験用種としてイシガメとクサガメを使用した。イシガメはいしかわ動物園で 2013 年に孵化した 15 個体を用い、実験開始時の平均甲長は約 91 mm であった。クサガメは動物取扱業者より 15 個体を購入し、実験開始時の平均甲長は約 96 mm であった。アカミミガメは愛知県および大阪府で駆除事業が行われた際の捕獲個体用い、甲長が約 80-110 mm の個体を 30 個体選定して使用した。アカミミガメ及びクサガメは病原菌等の園内への侵入を防ぐため、実験開始前に獣医師による 2 週間の検疫を行った後に使用した。

2016 年にはアカミミガメとイシガメを用いて実験を行った。4 月下旬にケージ 3 基を設置し、それぞれ(1)イシガメ 10 個体、(2)アカミミガメ 10 個体、(3)イシガメ 5 個体、アカミミガメ 5 個体を入れた。また 2017 年はアカミミガメとクサガメを用い、同様に(1)クサガメ 10 個体、(2)アカミミガメ 10 個体、(3)クサガメ 5 個体、アカミミガメ 5 個体を入れた。ケージ中には池に生息するキタノメダカ *Oryzias sakaizumii* やタイリクバラタナゴ *Rhodeus ocellatus ocellatus* などの魚類や、各種水生昆虫などが入るため、カメ個体はそれらを捕食可能であったが、週 5 回の頻度で各ケージに 10 g のカメ用ペレット（Mazuri® Aquatic Turtle Diet #5M87, タンパク質 40%、脂質 10%、繊維質 5%）を撒いて給餌した。この飼育は各年 10 月まで続した。

### (3) 実験期間中の個体の計測と観察

実験期間中、1 ヶ月に 1 回、ケージ内の全ての個体の健康状態を確認し、形態的特徴を計測した。計測項目は背甲長 (CL)、腹甲長 (PL)、最大甲幅 (CW)、最大甲高 (CH)、体重 (BW) とした。カメの背甲長と体重データは実験開始時を 1.0 とし、各個体の成長率を比較した。また 3 つのケージにはそれぞれ固定カメラを設置し、5 分間隔で日光浴のために上陸している個体数を種ごとに記録した。解析にはイシガメとアカミミガメ

は2016年6月15日から6月25日まで、クサガメとアカミミガメは2017年6月15日から6月25日までの撮影データを用いた。

### 3. 金沢市におけるアカミミガメの水平分布予測

#### (1) 一般化線形混合モデルによる個体数推定式の作成

アカミミガメの密度と分布を決定する要因を調べるため、野外センサスデータを使用し、一般化線形混合モデル (GLMM) による解析を行った。各観察地点のアカミミガメの個体数をポアソン分布をとる依存変数とし、独立変数として、(1) 川幅、(2) 水深、(3) 河口からの堰の数を使用した。水深はランク数を用い、さらに観察地点 No と各河川 No をランダム変数とした。この解析のモデル検討によってアカミミガメの密度を推定する最適モデルと回帰式を決定した。

#### (2) 金沢市周辺のアカミミガメ水平分布の予測地図作成

次に野外センサスの調査範囲であった金沢市周辺の平野部、約 150km<sup>2</sup> の範囲を対象に、上記の回帰式を用いてアカミミガメの分布を推定した。この対象範囲は金沢新港、大野川から河北潟の汽水域を中心とした扇状地帯であり、犀川、伏見川を主要河川とする犀川水系と、浅野川、金腐川、森下川、津幡川を主要とする大野川水系がある。また他の水系環境として、大野川河口から河北潟にかけての汽水域があり、さらに河北潟周辺の干拓地には大型の承水路が通っている。分布推定のため、石川県世界測地系対応メッシュマップを元に、この対象範囲を 500m × 500m のメッシュ単位に分割した (図 20)。各メッシュ内の水系環境、特に河川環境について川幅、水深、河口からの堰の数やその他の地理条件をデジタルマップ上でメッシュ毎にチェックした。それらを変数とし各メッシュ内の個体数を密度推定式で算出した。この推定により各メッシュ内の密度は 0-0.5 の範囲で推定されたが、大野川、河北潟など大型の湖沼が含まれるメッシュについてはアカミミガメが生息していることが野外調査から強く示唆されているため、密度は 0.5 以上と推定した。また水系環境がないメッシュ (都市部、宅地、山間地など) については密度は 0.1 以下とした。これらの推定から対象範囲のアカミミガメの水平分布の予測地図を作成した。

## 結果

### 1. 北陸地域における淡水性カメ類の群集構成と個体群の特徴について

#### (1) 2015-2017年の金沢市と加賀市の湖沼における群集構成

河北潟および金沢市での捕獲調査の結果、2015年には386個体、2016年には108個体、2017年には108個体のカメが捕獲された(表1)。調査地A(河北潟)では総計247個体が捕獲され、他の調査地よりも捕獲数が多かった。アカミミガメとクサガメのみが捕獲され、全年ともアカミミガメがその70%以上を占めていた(図8)。しかし、その捕獲頻度(CPT: 捕獲数/トラップ数/捕獲日数)は年間で差が見られ2016年は減少していた(表1)。クサガメは全年とも密度が低かったが年による差は無かった(表1)。また2017年にアカミミガメの基亜種であるキバラガメ *T. scripta scripta* が1個体捕獲されたが、各甲板に盛り上がりがあり歪みが見られるといった甲羅の形状から、飼育されていた個体が放逐されたものと推察された(図2D)。

2015年に行った12回の調査の結果、調査地Aでは134個体のアカミミガメが捕獲された。またこのうち24個体は最低1回の捕獲歴がある再捕獲個体であり、最大の再捕獲回数は3回、平均再捕獲率は20.9%であった。図6はその再捕獲に基づいた個体数推定の結果を示している。Petersen法では144-1309個体、Jolly-Seber法では345-2485個体と推定され、2つの推定法間では個体数とその変動パターンに違いが見られた。しかし、7月上旬に個体数の減少が、8月下旬に増加がある点では一致しており、アカミミガメは5~6月には干拓地の承水路から他の水域、恐らく湛水した水田に移動し、7~8月にまた水路へ戻る生活史があることが示唆された。

調査地B(俵大池)では総計235個体が捕獲され、イシガメとクサガメが高頻度で捕獲された。特にクサガメは36.0%以上を占めていた(図7)。捕獲頻度はイシガメでは年間差は無かったが、クサガメでは差が見られ、調査地Aのアカミミガメ同様2016年に減少していた。また2015年と2016年にイシガメとクサガメの交雑個体が捕獲された(表1、図1C)。調査地C(中山池)では総計108個体が捕獲され、調査地Bと同様にイシガメとクサガメが捕獲された(表1)。イシガメが46.7%以上を占めていたが(図7)、イシガメとクサガメの交雑個体が高頻度で捕獲され、特に2015年は20個体(32.7%)が捕獲された(表1)。さらに調査地D(富塚池)、E(作見池)、F(片野鴨池)では2015年に調査を行ったが、イシガメと、イシガメとクサガメの交雑個体が2-3個体捕獲されたのみであった(表3)。

#### (2) 各種の水平分布とその重複について

2015-2017年にかけて行った捕獲調査とセンサス調査の結果、金沢市から加賀市の湖沼114地点のうち、14の地点でカメ類を確認し、アカミミガメ、クサガメ、イシガメ、スッポンの4種が確認された。2種以上が確認された地点は6地点(42.8%)であり、水

平分布データから算出したニッチ重複係数 (Pianka の  $\alpha$  係数) はアカミミガメとイシガメ、スッポンの 2 種との間で低かった (表 2)。各種の確認地点の分布を図 8 に示す。アカミミガメとクサガメは平野部の湖沼から、山間部の池まで広範囲で確認された。アカミミガメとの重複係数が小さかったイシガメやスッポンは山間地や丘陵地の池に多く分布していた。

### (3)2001-2003 年と 2015-2017 年の群集構成の比較

調査地 A~C の 2001-2003 年と 2015-2017 年の捕獲個体の種構成を比較したところ、調査地 A では種構成の割合は異なっていたものの ( $\chi^2=9.1$ ,  $df=5$ ,  $P=0.01$ ,  $\chi^2$  検定)、調査開始から 16 年が経過してもアカミミガメが優占し、クサガメも低い頻度 (15-26%) で生息していた。一方、調査地 B では、2001 年と 2002 年にアカミミガメが捕獲されたが、12 年後の 2015 年に 1 個体が捕獲されたのみである。イシガメとクサガメの割合には変化が見られたが ( $\chi^2=6.9$ ,  $df=5$ ,  $P<0.001$ )、クサガメの割合が 36.0-83.3% で占められていた (図 7)。さらに調査地 C でも種構成は異なり ( $\chi^2=18.3$ ,  $df=4$ ,  $P=0.018$ )、2002 年にイシガメの割合 (48.4-84.6%) が高かった。また 2015-2017 年はイシガメとクサガメの交雑個体の割合が増加しており 2 種間の交雑が進んでいることが示唆された (図 7)。

加賀市の調査地 D、E、F では、2001 年から 2003 年にかけて、イシガメが多く捕獲されていたが、2015 年に同じ調査を実施したところ、全調査地で捕獲個体数が極端に減少していた (表 3)。特に調査地 D ではカメが捕獲されなかった。また調査地 F ではイシガメとクサガメの交雑個体が捕獲された。

### (4)河北潟のアカミミガメ個体群の特徴の変化

調査地 A (河北潟) ではアカミミガメが 16 年に渡って優占しており、その密度も高かった。しかし、その個体群の特徴には変化が見られた。背甲長 (CL)、腹甲長 (PL)、最大甲幅 (CW)、最大甲高 (CH)、体重 (BW) の 5 つの特徴について比較したところ、雌雄共に 2001-2003 年と比較して、2015-2017 年はすべての特徴で平均値が有意に大きくなっていった (表 4)。図 9 は個体の成長の指標となる背甲長の各年の頻度分布を示したグラフである。2001-2003 年と比較して、その分布は有意に異なり ( $\chi^2=4.1$ ,  $df=5$ ,  $P<0.0001$ , Kruskal Wallis 検定) 2013 年から 2017 年は体サイズが大きな個体が増加していた。また 2001-2003 年には幼体も捕獲されていたが、2013 年以降は幼体の捕獲は少なかった。さらに 2013 年から 2017 年にかけて、個体 No.333 の雌個体が 3 回連続して捕獲されたが、その計測データから 2013 年に背甲長 106.6 mm であった個体 (3 齢) が、2015 年には 172.2 mm (5 齢)、2017 年には 199.2 mm (7 齢) に成長しており (図 9)、2 年毎の成長比は 1.6、1.1 で下がっていた。また背甲長に体する体重のアロメトリーを年間で比較したところ、その回帰直線の傾きは雄では年間で差が見られなかったが ( $P=0.13$ ,  $t$  検定、図 10)、雌では有意差が見られ ( $P=0.008$ )、背甲長の成長に対して体重が低下し

ていた (2001-2003 年 : 3.02、2015-2017 年 : 2.94)。さらにカメの健康状態を表す BCI (Body Condition Index : 体重/甲長<sup>3</sup>) × 10<sup>4</sup> の平均値を算出、比較したところ (表 4)、2001-2003 年の平均値は雄 : 1.51 ± 0.15、雌 : 1.61 ± 0.12 であったのに対し、2015-2017 年は雄 : 1.41 ± 0.13、雌 : 1.56 ± 0.10 と減少していた (雄 : t=3.61, P=0.0005, 雌 : t=3.22, P=0.0015, t 検定)。捕獲された雄個体のうち、黒化した老齢個体が捕獲されたが、2001-2003 年は捕獲個体のうち 6.6-25% であったのに対し、2015-2017 年には 48-75% と増加していた。これらの事から河北潟のアカミミガメ個体群では、2003 年から 2017 年の 14 年間で個体は成長したものの健康状態が不良な個体が多く、さらに幼体も増加していないことから繁殖活動も進んでおらず、個体群には老齢個体が増加していることが示唆された。

## 2. アカミミガメが他種に及ぼす効果について

### (1) 野外飼育実験による効果の検証 -イシガメに対する効果-

2016 年に実施した飼育実験で、イシガメのみのグループのケージで 1 個体、アカミミガメのみのケージで 4 個体、2 種混在のケージでイシガメとアカミミガメ各 1 個体が死亡した。イシガメは同種のみと混在グループ間で成長パターンに明瞭な違いが見られ、混在グループでは背甲長の成長が低く (F<sub>1,89</sub>=22.5, P<0.001, 二元配置分散分析, 図 11a)、体重の増加も少なかった (F<sub>1,89</sub> =9.2, P=0.003, 図 12a)。飼育開始から 6 ヶ月後は同種のみグループでは背甲長成長の平均 4.3±SD 1.3 mm、平均体重成長の平均 21.3±8.9 g であったのに対し、混在グループでは背甲長 1.4±0.7 mm、体重 11.7±5.1 g であった。一方、アカミミガメでは同種のみグループで混在グループよりも背甲長の成長が小さくなったが (F<sub>1,68</sub> = 4.8, P = 0.03, 図 11b)、体重の変化に差は見られなかった (P=0.08, 図 12b)。飼育期間中の各実験ケージ内のバスキング行動を比較したところ、イシガメのバスキング頻度は、イシガメのみのグループより混在グループで有意に低かった (t=4.4, P=0.04, t 検定, 図 15a)。しかし、アカミミガメではアカミミガメのみと混在グループ間で差は見られなかった (P=0.26, 図 15a)。

### (2) 野外飼育実験による効果の検証 -クサガメに対する効果-

2017 年に実施した飼育実験では、クサガメのみのグループのケージで 2 個体、アカミミガメのみで 1 個体が死亡したが、混在飼育グループでは死亡個体はなかった。クサガメは、同種のみと混在グループ間で成長パターンに大きな差は見られず、混在グループで背甲長が小さくなる傾向があったが、背甲長の成長、体重の増加パターンは 2 グループ間で有意な差は無かった (背甲長 : P=0.06、体重 : P=0.27、二元配置分散分析、図 13a、図 14a)。一方、アカミミガメでも同種のみと混在グループ間で背甲長の成長、体重の増加パターンに差は見られなかった (背甲長 : P=0.27、体重 : P=0.13、図 13b、図 14b) しかし、クサガメのみのグループの個体は 10 月の実験終了時に目立つ外傷は認め



られなかったが、混在グループでは3個体が尾を欠損していた。またバスキング行動の観察では、クサガメのバスキング頻度は、クサガメのみのグループと混在グループ間で差がみられたが (t=5.3、P=0.025、t検定、図15b)、アカミミガメではアカミミガメのみと混在グループ間で差は見られなかった (P=0.88、図15b)。

### (3) クサガメの野外個体群に与える効果について

クサガメの野外個体群についても捕獲調査のデータを元に他種からの影響評価を試みた。調査地A(河北潟)と調査地B(俵大池)では、いずれもクサガメが捕獲されているが、調査地Aはアカミミガメと、調査地Bはイシガメと同所的に分布していた(表1、図7)。2001-2003年と2015-2017年のクサガメ個体群の平均背甲長を比較したところ、調査地Aでは背甲長は有意に異なり、平均値は小さくなっていた(t=7.3、P=0.009、t検定、図16)。しかし調査地Bでは差は見られなかった(P=0.12)。また背甲長と体重のアロメトリー回帰直線は調査地Aでは年間でその傾きに差がみられた(2001-2003年:2.73、2015-2017年:2.81、P=0.012、図17)、背甲長の成長に対して体重は増加していた。しかし、調査地Bでは年間で傾きに差は見られなかった(P=0.15)。この違いは調査地Aでは体サイズが小さな個体が増加したためと考えられる。

### 3. 金沢市におけるアカミミガメの水平分布予測

今回の捕獲調査で各種のカメが確認された地点数を表6に示す。アカミミガメの確認地点数が31地点と最も多く、クサガメ、スッポンが10地点、イシガメは7地点で確認された。確認地点数を金沢市内の水系地図にプロットすると、アカミミガメは低地の河川や湿地に多く、在来種は山間部のため池と低地の河川に分布していた(図18)。

調査地点64カ所におけるアカミミガメの個体数と河川条件との間の関係を調べたところ、河口部からの堰の数と水深ランクと個体数との間には回帰関係が見られ、堰数は負の関係(回帰係数:-0.17、P=0.04、ロジスティック回帰)、水深とは正の関係が見られた(回帰係数:1.01、P=0.007)。GLMM解析によって多変量の間関係を調べたところ、堰数と水深を独立変数としたモデルの一致性がもっとも高く、特に堰数は高い負の効果を個体数に与えていた(表5)。このモデル検討により下記のロジスティック回帰式(4)が得られた。

$$P_i = \frac{1}{1 + \exp(-(-1.25x_1 + 0.77x_2 - 2.13))} \quad \text{-----(4)}$$

ここでPiはアカミミガメの個体数、x1は堰数、x2は水深ランクを示しており、x2は1-3の値をとる。図19は水深ランクごとの回帰曲線を示している。

野外センサスの調査範囲であった金沢市周辺の平野部、約 150 km<sup>2</sup> の範囲 (図 20) を対象にアカミミガメの分布を推定した。これら回帰式、回帰曲線から図 20 のメッシュ毎に、その河川の地理条件からアカミミガメの個体数を算出、推定し、予測分布図を作成した (図 21)。河北潟から大野川にかけての水域ではアカミミガメの個体数が多いことが野外調査からも示唆されているが、この水系では津幡川、森下川、金腐川の流域にアカミミガメが分布していると予測された。犀川水系では伏見川と安原川に分布し、その密度は大野川水系よりも相対的に多いと予測された。図 22 に野外センサスで実際にアカミミガメが観察されたメッシュを同時に示した。実際の分布と予測は高い一致性を示し、河川部では伏見川や森下川、高橋川は特に高密度でアカミミガメが生息していると考えられる。また金腐川上流の数カ所の池でアカミミガメが観察されており、この観察結果と分布予測から、本流域は平野部から山地の間で本種の移動、分布拡大のルートになっていることが示唆された。

## 考 察

### 1. 北陸地方における侵入種と在来種の分布とその変遷

金沢市から加賀市に分布する淡水性カメ類群集は主にアカミミガメ、イシガメ、クサガメの3種によって構成され、これら種間には局所的な地理的分布の違いが見られた。在来種であるイシガメは丘陵地や山地の池に分布しており、クサガメもその分布は類似していたが平野部の湖沼にも生息していた。一方、アカミミガメは平野部の湖沼や河川に広く分布しており、特に河口域に近い面積の大きな湖沼には高密度で生息していた。さらに一部山地の池にも生息しており、3種の中ではもっとも広範囲、多様な環境に分布していた。今回最も捕獲数の多かった河北潟では調査面積 0.02 km<sup>2</sup> の水路に最大 2485 個体の個体数が推定され、干拓地内水路や他の承水路の総面積約 7.0 km<sup>2</sup> における個体数は 8 万個体以上と予想される。このような侵入種が極端に優占する群集構造は、それらが移入された地域では普通に見られ、侵入によって変化した典型的な構造と言える (Javier et al. 2016, Taniguchi et al. 2017)。

在来種の分布、特にイシガメの分布は局所的に制限されており、それはアカミミガメの侵入と拡大に起因していると考えられる。同様のケースは多数報告されており、スペインではアカミミガメの侵入によって、本来優占的であった在来種のスペインイシガメの分布の減少が示唆されている (Polo-Cavia et al. 2011)。またヨーロッパヌマガメもアカミミガメの侵入によって分布が制限されている (Cadi and Joly 2003)。国内でも大阪府や岡山県ではアカミミガメの分布の拡大に伴い、イシガメの生息範囲がアカミミガメの侵入していない水域に制限され、個体群も減少していることが確認されている (谷口・亀崎 2010, 亀崎ら 2017)。一方で、2001-2003 年と 2015-2017 年の調査結果は、ほぼ同様の分布パターンを示しており、(在来種の分布は制限されているものの、侵入種であるアカミミガメの分布も金沢市の平野部に限定されている。) これは侵入種と在来種の関係が長期間安定し、アカミミガメの分布の拡大にも制限的要因があることを示唆している。安川 (2007a) によると、Luiselli et al. (1997) によるヨーロッパヌマガメに対するアカミミガメの影響を調べた研究では、冬季の低温が原因でアカミミガメの繁殖成功率が低く、新たに生まれた幼体は、直後の冬を越せずに死亡する個体が大半で、アカミミガメがヨーロッパヌマガメに直接与えている影響について解明できなかったとある。北アメリカでもカナダのオンタリオ州では、ミシシippアカミミガメの侵入はあるものの、温度が低いため冬季の生存性が低く、侵入種としての脅威はないと考えられている (Browne and Hecnar 2007)。金沢市や加賀市を含む北陸地方は、緯度の割に降雪量が多く、山間部のため池や河川中上流域に注ぎ込む雪解け水の量が多い。人口密集地帯である潟や河川下流域では、水温が比較的高く、定期的に遺棄されたものが定着し、繁殖を繰り返すことで個体群が形成されたが、水温の低いため池や河川中上流域にアカミミガメが散発的に遺棄されても、定着できなかったと考えられる。

こうした種間の分布の違いには、資源利用と種間競争も大きく関係している。一般に類似した資源を利用する種、資源利用面での生態的ニッチの重複がある種間では競争が生じ、種の排除が起きる場合がある（伊藤ら 1992）。しかし、競争関係にある種間では資源利用パターンの変化が生じ、例えば住みわけや食いわけなどもまた発達しやすく、それによって生態的ニッチの分割が起きると、同所的な共存も可能となる（伊藤ら 1992）。金沢市周辺の地理的分布パターンの成立にも、アカミミガメを含めた外来種の侵入の履歴と、それによって生じた種間の資源利用競争、さらに資源利用ニッチの分割と共存機構の成立が関係していると考えられる。図 23 は推測されるその分布パターンの変遷と成立過程の概要を示している。この概要では、種間で生態的ニッチの重複が大きい場合、同所的な共存が困難になると仮定しており、本来はイシガメのみが金沢市周辺の湿生環境に生息していた（図 23a）。本種は三重県や岡山県などの他の地域では平野部の水田や用水路、溜め池にも普通に生息していたことから（山田ら 2008, 亀崎ら 2017）、本来は山地から平野部に広く分布していたと考えられる。150 年以上前にクサガメが移入され、その侵入初期にはイシガメと資源利用におけるニッチ重複が生じた（図 23b）。クサガメも岡山県や千葉県では平野の湿性環境に生息していることから（小賀野ら 2015a, 亀崎ら 2017）、その競争は主に平野部で起きたと推測される。しかし現在、この 2 種は高頻度で同所的に生息していることから、長期間に種間に何らかの生態的ニッチ、特に空間的ニッチではなく資源利用面でのニッチ分割が生じ、共存機構が形成された（図 23c）。また 1990 年代以前の金沢市周辺のイシガメ個体群は低山地の農業用貯水池や河川の中流より上流部に多く分布していたことが報告されており（徳本 1996）、クサガメとの関係はイシガメの分布域を平野部から山地や丘陵地中心にシフトさせたと考えられる。1990 年代になりアカミミガメの侵入が始まると、本種は多くの資源面で在来種と競争関係になるためイシガメ、クサガメの 2 種とも強い競争関係が生じた（図 23d）。アカミミガメの移入は人為的な放逐によって起きることが多いので、初期の競争関係はやはり市街地の多い平野部で起きたと推測される。既に平野部から主な分布域が移動していたイシガメ個体群は、より山地にその分布が制限され、アカミミガメとは資源利用をめぐる強い競争関係の存在が示されているので、現在でも同所的な共存は困難であると考えられる（図 23e）。一方、クサガメも主な分布はやはり山地に制限されたものの、アカミミガメともニッチ重複を回避する機構を備え、一部の個体群は平野部で共存ができています。現在の地理的分布パターンはこのように成立したと考えられるが、この成立過程からアカミミガメの侵入がクサガメとイシガメのニッチ分割をより促進したことが示唆される（図 23e）。山地や丘陵地の溜め池では 2 種の交雑個体も高頻度で観察されていることから、この種間には非常に安定した共存機構が既に形成されているが、それはアカミミガメの侵入によってより促進された可能性がある。アカミミガメの侵入が在来種の種間交雑や繁殖様式に影響を及ぼした例は知られていないため、この検証はアカミミガメの在来種への新たな効果の発見にもつながると思われる。

## 2. アカミミガメがイシガメとクサガメに与える影響

アカミミガメは在来種のイシガメとクサガメ個体群に対し、資源利用面から多様な効果を与えていることは予測される。その具体的な効果を飼育条件下で検証した例はいくつか報告されており、Polo-Cavia et al.(2011)はイベリア半島の在来種であるスペインイシガメをアカミミガメと共に水槽で飼育し、餌を巡る競争の有無を確認した。その結果、アカミミガメは在来種よりも多くの餌を採食し、さらに餌を巡る直接的な攻撃行動も明らかになった。また同様にフランスでは Cadi and Joly (2003)もヨーロッパヌマガメとアカミミガメを混在して池で飼育し、バスキング場所を巡る競争においてアカミミガメが優位であることを示している。さらに Pearson et al. (2015)は、低餌資源状態で飼育した場合、アカミミガメが存在していると在来種であるキタアカハラガメの幼体の成長が制限されることを突き止めている。これらの実験はアカミミガメが主に餌資源の獲得やバスキングの場所をめぐる競争に対して在来種に負の効果を与えていることを示している。今回、能美市で実施した野外実験でもアカミミガメは在来種の幼体の生育と成長に影響を与えていた。特にイシガメはアカミミガメと混在して飼育するとその成長が著しく阻害され、スペインイシガメやキタアカハラガメとの飼育実験と同様の結果となった (Polo-Cavia et al. 2011, Pearson et al. 2015)。その原因として他種との実験同様、第一に採餌をめぐる競争が考えられる。アカミミガメもイシガメも動物質から植物質の餌を利用する雑食性で餌資源の幅は広いとされている (上野ら 2014)。しかし、イシガメは野外では陸上昆虫や陸生貝類など動物質の餌を主に利用していることも報告されている (野田・鎌田 2004, 上野ら 2014)。実験では2種とも与えていた飼料ペレットを利用していただけと考えられるが、アカミミガメは採餌量が多いため (安川 2007a)、間接的にイシガメの採餌量を減少させていたと考えられる。また Polo-Cavia et al.(2011)ではアカミミガメ個体は他種個体の採餌行動に直接干渉することも観察されており、イシガメも採餌を妨げられていた可能性もある。次にアカミミガメによってイシガメ個体のバスキング頻度は減少していた。淡水性カメ類にとってバスキングは体温維持と調節に必須である。活動時間帯に十分な時間のバスキングができないと、生理的な代謝活動や運動の効率が減少する (Bulté and Blouin-Demers 2010) そのため水面上に突出した土手や倒木、抽水植物上などのバスキング場所は重要な資源の1つであり、それをめぐる競争もカメ類の群集には起きやすい (Lindeman 1999)。アカミミガメは在来種とその競争も起こすことが知られ、ヨーロッパヌマガメとの間では森林の湖沼でバスキング場所をめぐる闘争が観察されている (Cadi and Joly 2003)。国内のイシガメの野外個体群についてもこうしたバスキング場所をめぐる競争があることが強く示唆された。本実験の結果は2種が重複している資源を具体的に示し、野外でイシガメとアカミミガメの分布が重複しない理由も明確に示すことができた。

一方、クサガメの幼体の成長、生育に対してはアカミミガメの効果は比較的低かった。このことはクサガメがアカミミガメと競争を回避する特徴を持っていることを示唆しており、野外での分布パターンやその成立過程の推定とも一致する。利用する餌については、クサガメも基本的に雑食性であるが、野外では軟体動物や甲殻類、昆虫類などの動物類を選好しているとされ、また比較的、(アカミミガメが利用しない) 貝類を積極的に捕食して利用しているとされる(上野ら 2014)。イシガメ同様、今回の実験下では飼料ペレットを利用していたが、同時にケージ内に入ってきた池の水生昆虫や小型魚類を餌として利用していたため、アカミミガメとの(餌をめぐる)競争を回避できたと考えられる。また混在飼育していたケージのクサガメ個体の多く(3個体)はアカミミガメの噛みつきにより尾部を欠損しており、採餌への干渉に対抗した反応をしていた可能性もある。しかし、バスキング頻度についてはクサガメもアカミミガメによってその頻度は減少していた。だが、その減少はイシガメの実験例と比較すると大きくはなく、これはクサガメではアカミミガメがバスキングをしても同時にバスキングを行うケースが多く見られ、こうした行動によって競争もある程度回避はできていたためと考えられる。このように、クサガメは採餌行動や他種に対する行動のバリエーションが多く、それにより種間競争を回避する特徴がより発達しやすいことが示唆される。これはクサガメが本来は侵入種であることとも深く関連しており、千葉県や岡山県など過去にクサガメが侵入した地域では在来種と共存し、個体群が定着しているケースが多いこともこの見解と当てはまる(小賀野ら 2015b, 亀崎ら 2017)。しかし、捕獲調査の長期的観察の結果からアカミミガメと同所的に分布していたクサガメ個体群はイシガメと生息していた個体群とは異なる形態的特徴を示した。環境条件や他の要因の影響もあり得るが、クサガメ個体群はアカミミガメ個体群からの影響を受けている可能性はやはり残され、野外条件下における検証が今後も必要だろう。

### 3. アカミミガメ個体群の特徴の変遷とそれに伴う群集構造の変化について

河北潟の淡水ガメ群集は、過去15年間にわたってアカミミガメの密度が高い状態が続いていた。このことは、海外の多くの地域と同様に、クサガメ個体群に対して悪影響を及ぼしていると考えられる。アカミミガメは、低年齢で成熟し、産卵能力が高く、体サイズが大きいという点で、在来種よりも競争力が高いと考えられる(Arvy and Servan 1998)。また、攻撃性が高く(Cadi and Joly 2003; 2004, Polo-Cavia et al. 2010; 2011; 2012b)、採餌能力が高く、優占的に日光浴することにより体温をより高く保つことができ(Polo-Cavia et al. 2009; 2012a; 2012b)、天敵への警戒心が高い(Polo-Cavia et al. 2008, Costa, 2014)ことから、在来種を駆逐するといわれている。アカミミガメがクサガメに与える影響については、不明な点も多いが、野田・鎌田(2004)はクサガメとの餌資源を巡る競争に勝つ可能性があることを示唆している。

長期的なカメ個体群の調査結果から、2種の個体群構造に変化がみられることがわかった。アカミミガメでは年齢構成が変化してきており、近年では高齢個体が増え、若齢個体が減ってきている。これは繁殖がうまくおらず、少子高齢化が進んでいる可能性があることを示している。この原因の一つとして、種内競争が挙げられる。高密度状態では、個体間の資源を巡る競争が起こり、結果として生存率や繁殖率が低下する (Krebs 1994)。外来種は侵入初期には個体群密度が低いため、爆発的に個体数を増やすことができるが、環境収容力に達するとその増加は頭打ちになる。例えば、日本に侵入したカムルチー *Channa argus* 個体群は広範囲に分布していたが、減少傾向にある水域が多い (前畑 2002)。また、アフリカマイマイ *Achatina fulica* が導入された島では、急激に個体数が増加したのちに減少し、時には絶滅に至ることもある (瀧本・長谷川 2011)。今研究で捕獲されたアカミミガメは、西日本や中部地方の他の地域で調査された個体群 (谷口・亀崎 2010, 加藤ら 2014) 同様、高密度であり、種内競争が起きている可能性が高い。BCIが低下していたことは、餌資源を巡る競争が高くなっていることを示している。幼若個体の成長率と生存率は、餌資源を巡る激しい競争により低く抑えられていると考えられる。また、他の生物がアカミミガメの繁殖に影響を及ぼしている可能性がある。個体群の高齢化は、ほかの淡水ガメの研究でも報告されており、カナダのオンタリオ州にある Point Pelee 国立公園では、ブランディングタートル *Emydoidea blandingii* の個体群構造は、1972-1973年と2001-2002年の間により大型化し、高齢化が進んでいた (Browne and Hecnar 2007)。ここでは30年の間にアライグマの密度が高くなることにより、巣内の卵が捕食され、カメの繁殖が制限されていた。日本でもアライグマは在来、外来問わずカメ類を捕食する侵入種として問題になっている (鈴木ら 2015b, 小賀野ら 2015a, 小菅・小林 2015)。アカミミガメの産卵巣に対する捕食例は、複数報告されている (野田 2004, 島田ら 2008)。石川県の加賀市では2002年以降アライグマの侵入と増加が確認されており (石川県アライグマ防除マニュアル 2014)、その被害は金沢市にも広がっている。そのため、今回の研究で明らかになったアカミミガメの少子高齢化は、アライグマによる巣穴の捕食によって引き起こされた可能性もある。無論アライグマ以外の肉食性哺乳類、鳥類、魚類などの捕食者による卵や幼体の捕食の影響も考えられる。

クサガメの密度は、捕獲個体の数の増減はあったものの、15年間の調査期間を通して低かった。幼体は捕獲されず、黒化したオスが捕獲されたことから、繁殖がうまくいかず、高齢化している可能性が示唆された。しかしながらクサガメは完全に駆逐されておらず、アカミミガメと共存するメカニズムがあることを示唆している。外来種が侵入すると、在来種は外来種の存在する環境に適応し、行動や生態的特性を変化させることがある。その結果、これまでとは異なった選択圧が生じ、両種の個体群構造に影響を及ぼし、資源利用の変化、すなわちニッチシフトがおきる (Herbold and Moyle 1986, Cadi and Joly 2004)。このように河北潟のクサガメはアカミミガメの侵入以降、種間競争を避

けるために何かしらの特性を得たのではないかと予想される。例えば、このクサガメは柔らかいものではなく、より硬い甲殻類などを多く摂食していた(野田・鎌田 2004)。さらに、この2種の生息環境は若干異なっている。クサガメは周辺の水田やハス田を利用するのに対し、アカミミガメは水路から出ることは産卵以外ではめったにない。ニッチの違いはクサガメがアカミミガメとの共存を可能にしていると考えられる。

外来種をコントロールするためには様々な方法があるが、効果的な防除をするためには、その生物種の生活史や行動、その他の生態学的な特徴を正確に理解することが重要である。日本のアカミミガメの防除は行政や市民団体を中心に、すでに一部の湖沼や河川では駆除が始まっている(亀崎 2015)。しかしながら、駆除にはコストがかかり、確実に根絶させる手法は確立されていない。本研究の長期間にわたる調査結果は、外来種であるアカミミガメが爆発的に増加した場合でも、様々な要因によってその個体群動態が影響を受ける可能性があることを示唆している。この結果をもとに、アカミミガメの効果的な防除方法を確立することができると考えられる。

#### 4. 水平分布予測から考えられるミシシippアカミミガメの駆除方策について

アカミミガメの侵入と拡大は世界的規模の問題であるため、多くの国と地域で駆除、防除活動が行われてきており、様々な対策や駆除方法も発案されている(*Trachemys scripta elegans* (Red-eared Slider) Management Information)。O’Keeffe (2009)はオーストラリア、クインズランド州の湿地を対象に効果的な駆除方法を提出している。湖沼の水抜きによる捕獲はアカミミガメの駆除に非常に有効であるが、在来種の個体群や他の水棲生物群集にも大きな影響を与えてしまう。そのためアカミミガメを選択的に捕獲する必要がある。水底をさらう地引網は効率的かつ選択的な捕獲が可能であるが、広範囲をさらう網は地形的に実施が困難な場合も多く、またさらう動作を素早く行わないと多くのアカミミガメが逃避してしまう(Cash and Holberton 2005)。本研究でも使用したベイト誘引の箱型トラップでの捕獲は最も一般的な方法であり、またバスキングをする特徴を利用した浮島型の箱型トラップも開発されている。こうした箱型トラップは捕獲できる個体数が制限されがちであるが、この点を補う聖堂型トラップ *acathedral trap* も開発され、このトラップでは大きな効果が確認されている。またこうした個体捕獲のみでは岸の地中に作られた産卵巣から孵化してくる個体を駆除できない。アカミミガメが産卵巣を作る範囲は2 km以上に及ぶため(Gibbons et al. 1983)、それらの駆除も必要である。こうした産卵巣の発見にクインズランド州では訓練した探索犬も利用されている。国内でもこのような取り組みは行われており、愛知県名古屋市ではベイトトラップを利用し1000 個体以上のアカミミガメが捕獲され(ミシシippアカミミガメ防除マニュアル 2014)、兵庫県加古川市、明石市、京都府京都市などでも自治体や自然保護団体による駆除活動が行われている(西堀 2017)。また捕獲、駆除法も様々な手法が検討、実践



され、浮島型の異なるタイプの捕獲罟も開発されている。さらに、こうした防除方法をまとめたマニュアルも環境省を始めとし、いくつかの行政自治体で作成されている（鳴門市 2012 など）。

こうした駆除作業では対象とした種の野外で密度、分布、生活史などを正確に把握することが重要である。またその分布様式から個体や個体群の移動の過程を予想できれば、分布の拡大を予め防ぐ方策も想定できると考えられる。アカミミガメの個体は広範囲を移動し、その分布拡大も急速に起きることは知られているが（谷口ら 2016）、その過程をモニタリング、また予測した例はまだない。アカミミガメの野外への侵入は、人為的かつランダムな個体の放逐によって起きることが多い。しかし、金沢市においては本研究の捕獲調査やセンサス調査の結果から河北潟や大野川、犀川河口など、海岸部に近い大型の湖沼や河川に高密度で分布していた。これは本種が水系、特に河川を通じて下流域に高頻度で移動、あるいは水流によって流され、遡上することが少ないためだと考えられる。アカミミガメは河川だけでなく用水路や側溝なども利用して分布を拡大するが、今回の分布決定要因の解析から、河川に設置された堰は個体の移動や分布を強く制限していることが示された。これはアカミミガメが他の在来種と比較してより水中生活に適應しているため、崖やコンクリート護岸の登坂や、障害物を乗り越えることが困難な体形をしているためであると考えられる。また流路の水深も制限要因の1つであり、水深が浅いと泳行できず、また体型的に川底の歩行も困難となる。このようなアカミミガメの特徴から金沢市での分布は河口付近に集中しやすく、また遡上できる河川も制限されていると判断される。

これらの点から、今回の金沢市の調査範囲におけるアカミミガメの駆除や拡大の抑止には、具体的に以下の方策が効果的であることが示唆される。

（1）大野川水系と比較し、犀川水系にはアカミミガメが移動可能な河川（安原川、伏見川）が多いため、これら支流や流域にある湖沼には集中的な駆除が必要である。

（2）大野川水系では金腐川と森下川は移動可能と考えられ、特にイシガメの分布する山地への侵入の恐れがある。これらの河川への堰の設置は拡大の抑止に効果的である。また河北潟や周辺の干拓地や水田には湖から移動したアカミミガメが多く生息、繁殖している。しかし、その繁殖効率は高くないことが捕獲調査より示されているため、これらの地域では若齢個体や卵の採集によって繁殖の根絶を目指した活動も効果的だろう。このようにアカミミガメの水平分布をその生活史や行動の特徴から予測する試みは効果的な防除手法と対策につながる。今回の金沢市における研究はその先駆的なモデルケースとなると考えられる。

## Abstract

Red-eared slider turtle *Trachemys scripta elegans* is one of the representative invasive organisms, which potentially induce negative impacts against freshwater ecosystem in the world. In this study, the population structures of the invasive turtle and the effects on the communities of native turtles at wetlands in Ishikawa prefecture were examined by field research and experiments. First, the species composition and abundance of freshwater turtles were investigated by capturing with bait traps. The field collection has been continuously conducted from 2001 to 2017 at 6 sites in Kanazawa and Kaga city. In Kanazawa, Kahokugata lagoon, red-eared slider has been dominated. Whereas, Reeves' pond turtle *Mauremys reevesii* and Japanese pond turtle *Mauremys japonica* as native species were mainly distributed in Tawara, nakayama, tomiduka and Sakumi near the mountain area. At least, the distribution of red-eared slider and Japanese pond turtle was not overlapped in field.

Second, the change of the population structures of red-eared slider at Kahokugata lagoon was investigated by the observation of morphological characteristics of captured individuals. For 17 years from 2001 to 2017, the density of juveniles was decreased and that of old individuals was increased. Furthermore, the capturing number of melanistic males as older individuals was increased. They suggest that the reproductive efficiency in red-eared slider population became lower for long time.

Third, to test the direct effects of red-eared slider on the survivorship of native turtles, field experiments were conducted at the Ishikawa zoo in Nomi city. In spring season of 2016, three cages (100 cm × 100 cm × 50 cm) were set up in the pond. In a cage, 5 juveniles of Japanese pond turtle were kept together with 5 red-eared slider juveniles. As a control, 10 individuals of only native and invasive turtle were respectively kept in other two cages. After 6 months, the survivorship and the growth rate were compared among three experimental groups. Additionally, in 2017, the similar experiment was conducted using Reeves' pond turtle. In Japanese pond turtle, the growth rate of the group kept with red-eared slider was significantly lower than control group. However, the growth rate of Reeves' pond turtle was not affected by the existence of red-eared slider. Probably, Reeves' pond turtle may have any properties to avoid the competition with red-eared slider.

Finally, to examine the process of invasion in Kanazawa city, the distribution pattern of red-eared slider and other turtles was investigated by field census. The 130 km<sup>2</sup> area of Kanazawa city including 15 rivers was classified with 568 meshes. In each mesh, the number and species of freshwater turtle was recorded from June to August in 2016 and 2017. As a result, red-eared slider was confirmed in 37 (6.5%) of 568 meshes including wetland environments. Specifically, they are mainly observed in the Fushimi, Morishita and Takahashi river. GLMM analysis showed that the distribution pattern of red-eared slider in river could be explained by the number

of dam from the mouth of river and the water depth. The result makes it possible to predict the expansion and distribution pattern of red-eared slider in future. It can give us the useful information to protect the invasion of red-eared slider and conserve the native turtle communities and freshwater ecosystem in Kanazawa city.

## 要旨

北陸地方に生息する淡水性カメ類は本来ニホンイシガメとクサガメが優占していたが、外来種であるミシシippアカミミガメの侵入により、在来種への影響が心配されている。本研究では捕獲調査により野外に生息している淡水ガメの分布と個体群の特徴を調べ、過去の個体群データと比較し、アカミミガメ個体群に起きている変化を調べた。さらに、野外飼育実験によりアカミミガメが在来種にどのような影響を与えているのかを検証した。最後に野外のアカミミガメ個体群の分布から個体の移動と個体群の拡大予測を試みた。

野外のカメの捕獲調査は、県内の6か所の調査地を設定して行った。ベイトトラップで捕獲したカメを標識再捕獲することで、個体数推定をし、トラップ当たりの捕獲数から密度を推定した。河北潟の調査地Aでは、アカミミガメが優占し、クサガメが低密度で生息していた。金沢市内のため池B, Cではクサガメとイシガメが同所的に生息し、交雑個体が確認された。加賀市内のため池D, E, Fでは2001年から2003年にかけてはイシガメが多く捕獲されたが、2015年にはほとんど捕獲されなくなった。河北潟のアカミミガメについては、2001年から2003年と比べ、2015年から2017年には大型個体の割合が増加し、捕獲個体数も増大していた。一方で体長に対する体重を示す肥満度は減少していた。また、幼体の捕獲数が激減していたことから、この個体群が少子高齢化していることが示唆された。

アカミミガメが在来種に与える直接的な影響を検証するため、野外飼育実験を行った。アカミミガメと混在飼育したイシガメは、イシガメのみで飼育した場合と比べて背甲長、体重ともに成長が著しく抑えられた。一方でアカミミガメはイシガメの存在の有無にかかわらず成長していた。また、アカミミガメの存在によりイシガメの日光浴頻度が減少していた。これらの結果によりアカミミガメが、イシガメの成長に対して負の影響を与えていることが明らかになった。次にクサガメについても同様の実験を行ったところ、こちらはアカミミガメの有無にかかわらず成長することができた。しかしながら、日光浴頻度はアカミミガメの存在によって若干減少がみられた。日本固有種であるイシガメと異なり、中国大陸にも分布しているクサガメは、何らかの他種との共存機構を持っている可能性が示唆された。

金沢地方におけるカメ類の水平分布調査により、河川下流部にアカミミガメが多く分布し、山間部のため池などにイシガメ、クサガメが分布していることが明らかになった。センサス結果と一般化線形混合モデルによるアカミミガメの密度と地理的条件解析の結果、アカミミガメの分布は、河口からの堰の数や水深によって制限を受け、河川下流域に集中していることが示唆された。今後駆除計画を策定する際、本研究の結果を有効活用することができると考えられる。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、金沢大学大学院自然科学研究科生態学研究室の大河原恭祐准教授には、調査計画、センサス調査、データの取りまとめ、図表の作成から論文執筆の多岐にわたり多大なるご助言、ご指導をいただきました。もともと専門分野が異なったこともあり、先行研究などを先生自らお探しくださったり、対象動物の特殊性ゆえ、これまでとは異なる指導方法をとっていただいたりと、ご心配、ご迷惑をおかけする場面もありましたが、常に温かく見守り、導いてくださいました。また、社会人学生ということもあり、変則的な時間に研究室にお邪魔させていただくことがあり、さらに夜遅くまでメールでご指導いただくこともありましたが、私の業務にご配慮いただき、いつも快くご指導していただきました。心より感謝の意を表します。

金沢大学大学院自然科学研究科の山口正晃教授、都野展子准教授、金沢大学環日本海域環境研究センターの西川潮准教授、木下栄一郎准教授には、お忙しい中副査をお引き受けいただきました。記して深謝いたします。

河北潟湖沼研究所理事長の高橋久博士、所長の永坂正夫博士には、河北潟研究奨励助成の際、ご助言をいただき、また研究助成を受けさせていただきました。また、カメ類の調査地であるため池や水路を管理されている各町内会、生産組合の皆様、石川県津幡農林事務所の担当者様には、野外調査のための立ち入り許可をいただきました。名古屋生物多様性センターの野呂達也氏、和亀保護の会の西堀智子氏には、飼育実験に使用するアカミミガメを提供して頂きました。ここに感謝の意を表します。

いしかわ動物園の美馬秀夫園長には、業務の傍ら大学院に入学し、研究を行うことを許可していただいたばかりか、動物園内の調整池において、複数年にわたり飼育実験を実施することをお許しいただきました。また、同じ業務グループに属した竹田伸一氏、北地真理子氏、木村元大氏、佐藤美樹氏、小山将大氏、田中愛氏には、研究のために必要な休暇確保にご配慮いただき、時には業務を交代していただきました。また、歴代アシカ・アザラシ担当職員には、カメの捕獲に必要なサバの頭を提供して頂きました。心より感謝いたします。

妻である野田尚子には、仕事の傍ら研究を行うことにご理解いただき、時間的、経済的な負担を強いることになりましたが、常に温かく見守っていただきました。長女時音と次女文音には、共に過ごす時間が少なくなり不自由をかけたことが、彼女らの存在が研究活動の大きな励みとなりました。父母をはじめ、親族一同には多くの心配、ご迷惑をおかけしましたが、常に温かく励ましていただきました。家族と親戚に深く感謝いたします。

## 引用文献

- Arvy, C. and Servan, J. (1998) Imminent competition between *Trachemys scripta* and *Emys orbicularis* in France. *Proceedings of The Emys Symposium, Dresden 96. Mertensiella*, pp. 33–40.
- Browne, C. L. and Hecnar, S. J. (2007) Species loss and shifting population structure of freshwater turtles despite habitat protection. *Biological conservation*.138: 421-429.
- Bulté, G. and G. Blouin-Demers (2010) Estimating the energetic significance of basking behaviour in a temperate-zone turtle. *Ecoscience* 17(4): 387-393.
- Cadi, A. and Joly, P. (2003) Competition for basking places between the endangered European pond turtle (*Emys orbicularis galloitalica*) and the introduced red eared slider (*Trachemys scripta elegans*). *Canadian Journal of Zoology* 81(8): 1392–1398.
- Cadi, A. and Joly, P. (2004) Impact of the introduction of the red-eared slider (*Trachemys scripta elegans*) on survival rates of the European pond turtle (*Emys orbicularis*). *Biodiversity and Conservation* 13(13): 2511-2518.
- Cash, WB. and Holberton, RL (2005) Endocrine and behavioural response to a decline in habitat quality: Effects of pond drying on the slider turtle, *Trachemys scripta*. *Journal of Experimental Zoology Part A: Comparative Experimental Biology* 303A: 872-879.
- Ernst, C. H. and Barbour, R. W. (1989) *Turtles of the World*. Smithsonian Institution Press. Washington, D. C., and London.
- Gibbons, JW., Greene, JL. and Congdon, JD. (1983) Drought-related responses of aquatic turtle populations. *Journal of Herpetology* 17: 242-246.
- 長谷川 徹 (2002) 概説 (爬虫類). 福井県レッドデータブック (動物編).  
<http://www.erc.pref.fukui.jp/gbank/rdb/rdb003.pdf>
- Herbold, B. and Moyle, B. P. (1986) Introduced species and vacant niches. *The American Naturalist*128: 751–760.
- 池田透 (2002) 第 3 章 哺乳類 アライグマ. 日本生態学会(編) 外来種ハンドブック. p70. 地人書館, 東京
- 石原重厚 (1986) クサガメ・イシガメにおける産卵開始年齢の確認. *爬虫両棲類学雑誌* 11(4): 183.
- 石川県環境部自然環境課 (2014) アライグマ防除マニュアル.  
[http://www.pref.ishikawa.lg.jp/sizen/gairaishu/documents/ishikawa\\_arraiguma\\_manyuaru.pdf](http://www.pref.ishikawa.lg.jp/sizen/gairaishu/documents/ishikawa_arraiguma_manyuaru.pdf)
- 伊藤嘉昭・山村則男・嶋田正和 (1992) 第 11 章 種間競争とニッチ p 277-307 In *動物生態学*. 蒼樹書房, 東京 p 277-307
- Javier, N., Geiziane, T., Gentile, F. F., Rafael, L., Valeria, D. C. and Gerardo, L. (2016) Buying environmental problems: The invasive potential of imported freshwater turtles in Argentina.

- Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*.2017; 27: 685-691.
- Jian, W., Haitao, S., Shijia, H., Kai, M. and Chuang, L. (2013) Interspecific Differences in Diet between Introduced Red-eared Sliders and Native Turtles in China. *Asian Herpetological Reserarch* 4(3): 190-196.
- 環境省 (2015a) 生態系被害防止外来種リスト  
<https://www.env.go.jp/nature/intro/2outline/list/list.pdf>
- 環境省 (2015b) ニホンイシガメの輸出に係る助言について.  
<https://www.env.go.jp/council/12nature/y125-08b/mat03.pdf>
- 亀崎直樹 (2015) 日本の淡水ガメ、特にミシシippアカミミガメに関する問題について.  
*爬虫両生類学会報* 2015(2): 123-133.
- 亀崎直樹・藤林真・河田萌音 (2017) 岡山県における淡水ガメの種組成と分布. *亀楽* 14: 2-8.
- 加藤英明・小田切佑樹・服部智美・本多安雄 (2014) 静岡市麻機地域における外来種ミシシippアカミミガメ *Trachemys scripta elegans* (Testudines, Emydidae)の分布と生息状況. *東海自然誌* 7: 21-24.
- 加藤英明 (2016) 国内で初めて確認された外来生物アカミミガメによるイネの食害.  
*静岡大学環境報告書* 2016 : 97.
- 小菅康弘・小賀野大一・長谷川雅美 (2003) 小糸川流域における淡水性カメ類の分布. *千葉中央博自然誌研究報告特別号(6)*: 55-58.
- 小菅康弘・小林頼太 (2015) アライグマによる淡水カメ類の危機. *爬虫両生類学会報* 2015(2): 167-173.
- Krebs, C. J. (1994) Factors that limit distributions: Interrelations with other organisms. p. 75–92. *In: Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance 4<sup>th</sup> ed.* Addison-Wesley Longman, Inc. California.
- Lever, C. (2003) *Naturalized Reptiles and Amphibians of the World*. Oxford University Press Inc., New York, NY.
- Lindeman, P. V. (1999) Aggressive Interactions during Basking among Four Species of Emydid Turtles. *Journal of Herpetology*33:214-219.
- Luiselli, L., Capula, M., Capizzi, D., Filippi, E., Trujillo, JV. and Anibaldi, C. (1997) Problems for conservation of pond turtles (*Emys orbicularis*) in central Italy: is the introduced red-eared turtle (*Trachemys scripta*) a serious threat? *Chelonian Conservation and Biology* 2: 417-419.
- 前畑政善 (2002) 第3章 魚類 カムルチー. 日本生態学会(編) *外来種ハンドブック*. P120. 地人書館, 東京
- 三根加奈子・谷口真理・簀洗太郎・亀崎直樹 (2014) ミシシippアカミミガメとクサガメの消化管内容物分析. *亀楽*8: 12-15.

- ミシシippアカミミガメ防除マニュアル-名古屋市内の活動を事例として- (2014) ながや生物多様性保全活動協議会.
- 村上興正・鷺谷いづみ (2002) 外来種と外来種問題. 日本生態学会(編) 外来種ハンドブック. p3. 地人書館, 東京
- 村上興正 (2002) 第3章 哺乳類 ヌートリア. 日本生態学会(編) 外来種ハンドブック. P69. 地人書館, 東京
- 永原光彦 (2011) 佐賀城堀におけるハスの減少とミシシippアカミミガメの駆除. 亀楽(2): 1-3.
- 中井克樹 (2002) 第3章 魚類 ブルーギル. 日本生態学会(編) 外来種ハンドブック. p119. 地人書館, 東京
- 仲谷淳・前川慎吾 (2002) 第3章 哺乳類 タイワンザル. 日本生態学会(編) 外来種ハンドブック. P64. 地人書館, 東京
- 鳴門市 (2012) 課題: レンコンを食害する外来種カメを効率的に駆除する技術の確立と普及. <http://www.pref.tokushima.jp/files/00646550/kame.pdf>
- 夏原由博・西川喜朗 (2002) 第3章 昆虫類 ゴケグモ類. 日本生態学会(編) 外来種ハンドブック. p152. 地人書館, 東京
- 野田英樹・鎌田直人 (2004) 淡水性カメ類の個体群特性と食性の関係. 爬虫両生類学会報 2004(2): 102-113.
- 野田英樹 (2004) 河北潟におけるアカミミガメ野外繁殖. 河北潟総合研究 7:17-19.
- 西堀智子・久米卓美・菊川百合子・多田哲子・坂雅宏 (2017) 大正川におけるニホンイシガメ・ミナミイシガメ大量遺棄事件. 第4回淡水ガメ情報交換会講演要旨集. p64-66. 生態工房, 東京
- 太田英利 (2002) 第3章 両生爬虫類 グリーンアノール. 日本生態学会(編) 外来種ハンドブック. P99. 地人書館, 東京
- O'Keeffe, S. (2009) The Practicalities of Eradicating Red-eared Slider Turtles (*Trachemys scripta elegans*). Aliens: The Invasive Species Bulletin. (Eds. Genovesi, P. and Scalera, R.) Newsletter of the IUCN/SSC Invasive Species Specialist Group. 19-25.
- 大家巧己・小西翔 (2014) アカミミガメの繁殖に関する研究. P.31-38. 片岡朋美・小河原孝恵(編). 第2回淡水ガメ情報交換会講演要旨集. 生態工房, 東京
- 小賀野太一・吉野英雄・八木幸市・田中一行・笠原孝夫 (2015a) 房総半島の溜池に生息するニホンイシガメの危機的状況. 爬虫両生類学会報 2015(1): 1-8.
- 小賀野太一・尾崎真澄・小菅康弘・近藤めぐみ・西堀智子・松本健二・長谷川雅美 (2015b) 千葉県ニホンイシガメ保護対策協議会の設立とその活動. 爬虫両生類学会報 2015(2): 174-183.
- Pablo, G-D., David, S. L. R., Andrew, P. W., Marc, F., Gustavo, A. L., Albert, M., Xabier, B., Asier, R. L., Matthieu, L., Alberto, A., Jose, M. T., Aitor, V., Arine, C., Virginia, R., Enrique,



- A., Vicente, S., J. Ignacio, L., Jose, V. B. and Miguel, L. (2017) Challenges in confirming eradication success of invasive red-eared sliders. *Biological Invasions* 19:2739-2750.
- Pearson, S.H., Avery, H.W., Kilham, S.S., Velisnky, D. and Spotila, J.R. (2013) Stable isotopes of C and N reveal habitat dependent resource overlap between two turtle species, *Pseudemys rubriventris* and *Trachemys scripta elegans*. *PLoS One* 8(5) e62891.
- Pearson, S. H., Avery, H. W. and Spotila, J. R. (2015) Juvenile invasive red-eared slider turtles negatively impact the growth of native turtles: Implications for global freshwater turtle populations. *Biological Conservation* 186: 115-121.
- Polo-Cavia, N., Lopez, P. and Martin, J. (2008) Interspecific differences in responses to predation risk may confer competitive advantages to invasive freshwater turtle species. *Ethology* 114: 115–123.
- Polo-Cavia, N., Lopez, P. and Martin, J. (2009) Competitive interactions during basking between native and invasive freshwater turtle species. *Biological Invasions* 12: 2141–2152.
- Polo-Cavia, N., Lopez, P. and Martin, J. (2010) Competitive interactions during basking between native and invasive freshwater turtle species. *Biological Invasions* 12: 2141–2152.
- Polo-Cavia, N., Lopez, P. and Martin, J. (2011) Aggressive interactions during feeding between native and invasive freshwater turtles. *Biological Invasions* 13: 1387–1396.
- Polo-Cavia, N., Lopez, P. and Martin, J. (2012a) Feeding status and basking requirements of freshwater turtles in an invasion context. *Physiology and Behavior* 105: 1208–1213.
- Polo-Cavia, N., Lopez, P. and Martin, J. (2012b) Effects of body temperature on righting performance of native and invasive freshwater turtles: Consequences for competition. *Physiology and Behavior* 108: 28–33.
- 島田知彦・戸莉淳 (2008) シマヘビによるカメの卵の捕食例. *爬虫両生類学会報* 2008 (2): 94-95.
- Stone, J. (2010) Distribution and abundance of the non-native red-eared slider turtle (*Trachemys scripta elegans*) and the native red-bellied turtle (*Pseudemys rubriventris*) in relation to wetland characteristics in southeastern Pennsylvania. Drexel University, Philadelphia, PA, USA.
- Suzuki, D., Ota, H., Oh, H-S. and Hikida, T (2011) Origin of Japanese populations of Reeves' pond turtle, *Mauremys reevesii* (Reptilia: Geoemydidae), as inferred by a molecular approach. *Chelonian Conservation and Biology* 10(2): 237–249.
- 鈴木大・會津光博・疋田努 (2015a) 東寺における淡水性カメ類種構成の変遷. *爬虫両生類学会報* 2015(1): 68-69.
- 鈴木大・會津光博・菊水研二 (2015b) アライグマの食害を受けたと考えられるニホンイシガメ. *爬虫両生類学会報* 2015(1): 15-17.
- 多田哲子・坂雅宏・西堀智子 (2016) 京都府南部ため池群における淡水ガメ種構成の

- 変遷. *爬虫両生類学会報* 2016(1): 65-66.
- 竹田正義 (2017) 飼育下における淡水性カメ類の産卵状況について—1976年～2015年の記録より—. p 94-97. *第4回淡水ガメ情報交換会講演要旨集*. 認定NPO法人 生態工房, 東京
- 瀧本岳・長谷川雅美 (2011) 第6章 すぐに増える、ゆっくり増える、やがて消える? —外来種がもたらす影響の時間変化とその仕組み—. (西川潮。宮下直 編) *外来生物—生物多様性と人間社会への影響—*. p 102-123. 裳華房, 東京
- 田村典子 (2002) 第3章 哺乳類 タイワンリス. 日本生態学会(編) *外来種ハンドブック*. P66. 地人書館, 東京
- 谷口真理・亀崎直樹 (2010) 大阪平野淀川支流の船橋川に生息するカメ類. *爬虫両生類学会報* 2010(2): 105-110.
- 谷口真理・三根佳奈子・亀崎直樹・角道弘文 (2016) ため池におけるニホンイシガメとミシシippアカミミガメの移動範囲. *爬虫両棲類学会報* 2016(1): 64-65.
- Taniguchi, M., Lovich, J. E., Mine, K., Ueno, S. and Kamezaki, N. (2017) Unusual population attributes of invasive red-eared slider turtles (*Trachemys scripta elegans*) in Japan: do they have a performance advantage? *Aquatic invasions*. 12:97-108.
- 戸田光彦 (2011) 爬虫両生類を巡る外国産外来生物問題の現在. *爬虫両棲類学会報* 2011(2): 128-136.
- 徳本洋 (1996) 第2章 爬虫類 (1) カメ類・有鱗類. P33-60. 石川県両生爬虫類研究会 (編) *石川県の両生・爬虫類*. 石川県環境部自然保護課, 石川
- Trachemys scripta elegans*(Red-eared Slider) Management Information.  
[http://issg.org/database/species/reference\\_files/trascr/trascr\\_man.pdf](http://issg.org/database/species/reference_files/trascr/trascr_man.pdf)
- 常田邦彦 (2002) 第3章 哺乳類 ヤギ (ノヤギ). 日本生態学会(編) *外来種ハンドブック*. P80-81. 地人書館, 東京
- 上野真太郎・笹井隆秀・石原孝・谷口真理・三根佳奈子・亀崎直樹 (2014) 日本に産するカメ類の食性 (総説). *爬虫両棲類学会報* 2014(2): 146-158.
- 矢部隆 (1991) X線写真で調べたイシガメメスの繁殖生態について. *爬虫両棲類学雑誌* 14(2): 82.
- 矢部隆 (2002) *里山の生態学—その成り立ちと保全の在り方—* (広木詔三 編). 名古屋大学出版会, 愛知
- 山田雄哉・上木原慶彦・芹沢俊介 (2008) 愛知県中部における在来及び外来淡水産カメ類の分布. *豊橋市自然史博物館研報* 18:35-45.
- 安川雄一郎 (2002) 第3章 両生爬虫類 カミツキガメ、ミシシippアカミミガメ. 日本生態学会(編) *外来種ハンドブック*. P94, 97. 地人書館, 東京
- 安川雄一郎 (2005) 今後日本国内に定着する恐れの高い淡水性カメ類について. *爬虫両棲類学会報* 2005(2): 155-163

安川雄一郎 (2007a) アカミミガメ属の分類と自然史②. クリーパー No.37. p26-64.  
クリーパー社, 東京

安川雄一郎 (2007b) イシガメ属とその近縁属の分類と生活史 後編. クリーパー  
No.40. p30-67. クリーパー社, 東京

安川雄一郎 (2017) 5章 日本産イシガメ科カメ類の生態. *これからの爬虫類学* (松井  
正文編). 裳華房, 東京

淀 太我 (2002) 第3章 魚類 オオクチバス. 日本生態学会(編) *外来種ハンドブック*.  
p117. 地人書館, 東京

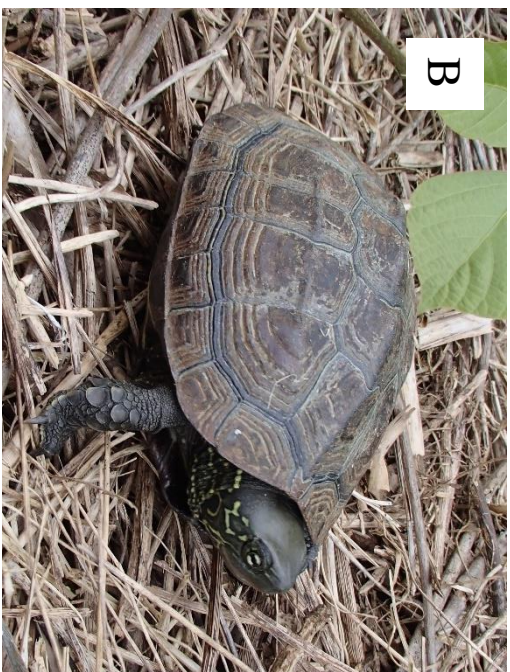


図1 石川県内で確認されている種類。A: ミシシッピアカミミガメ *Trachemys scripta elegans*、  
B: クサガメ *Mauremys reevesii*、C: ニホンシガメ *Mauremys japonica*、D: スッポン *Pelodiscus sinensis*。



図2 本調査で確認された特異的な個体。A: ニホンイシガメとクサガメの交雑個体 B: ミシシッピアカミミガメの黒化個体、C、D: アカミミガメの基亜種、キバラガメ *Trachemys scripta scripta*。



図3 調査地点と調査範囲。金沢市3地点、加賀市3地点の湖沼で捕獲調査を行った。またセンサス調査は金沢市周辺の河川および湖沼と、能美市、小松市、加賀市周辺の湖沼で行った。

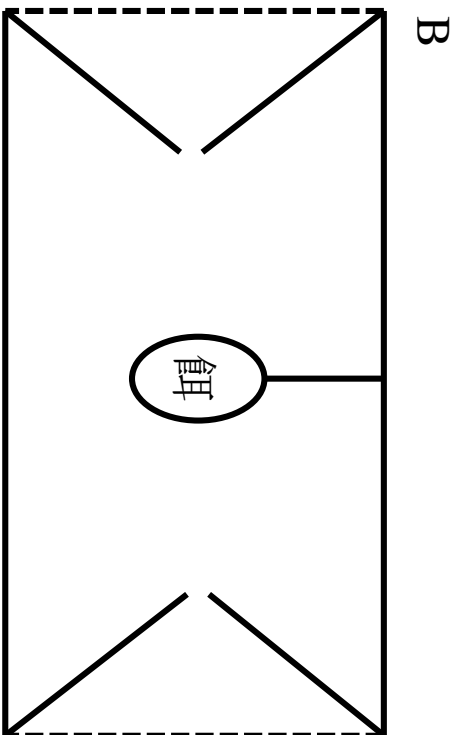
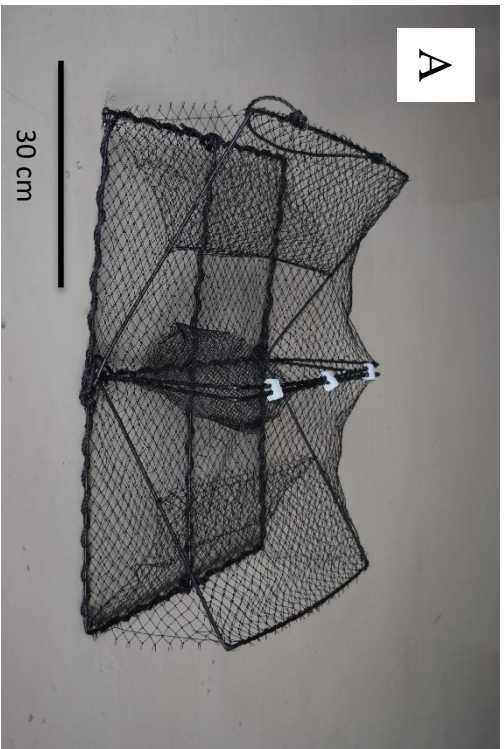


図4 A 捕獲調査に使用した籠トラップとB その概要図。C 水中に設置した図。カメの溺死防止のため各トラップには浮きを装着した。D 捕獲されたカメ個体。

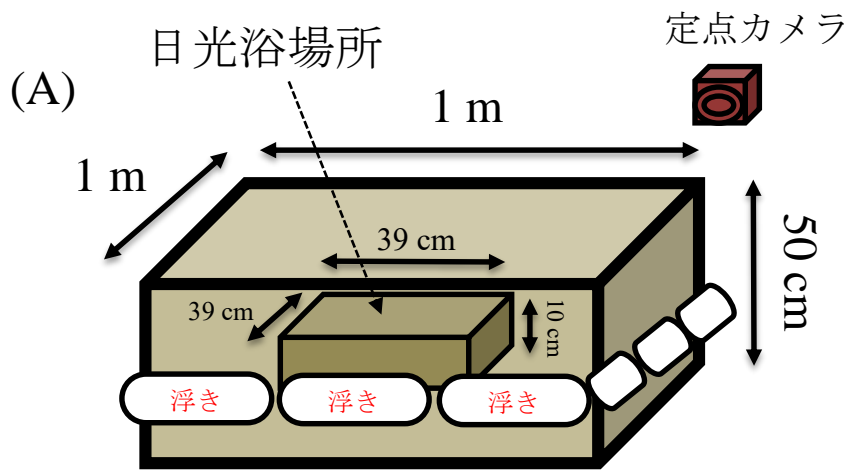


図5 A 野外飼育実験の装置の概要図。金網を張ったケージに浮きを付け、水面に浮かべた。ケージ内にはバスキング（日光浴）用の浮島を設置した。  
 B 野外に設置した図。3基を能美市いしかわ動物園内の調整池に設置した。



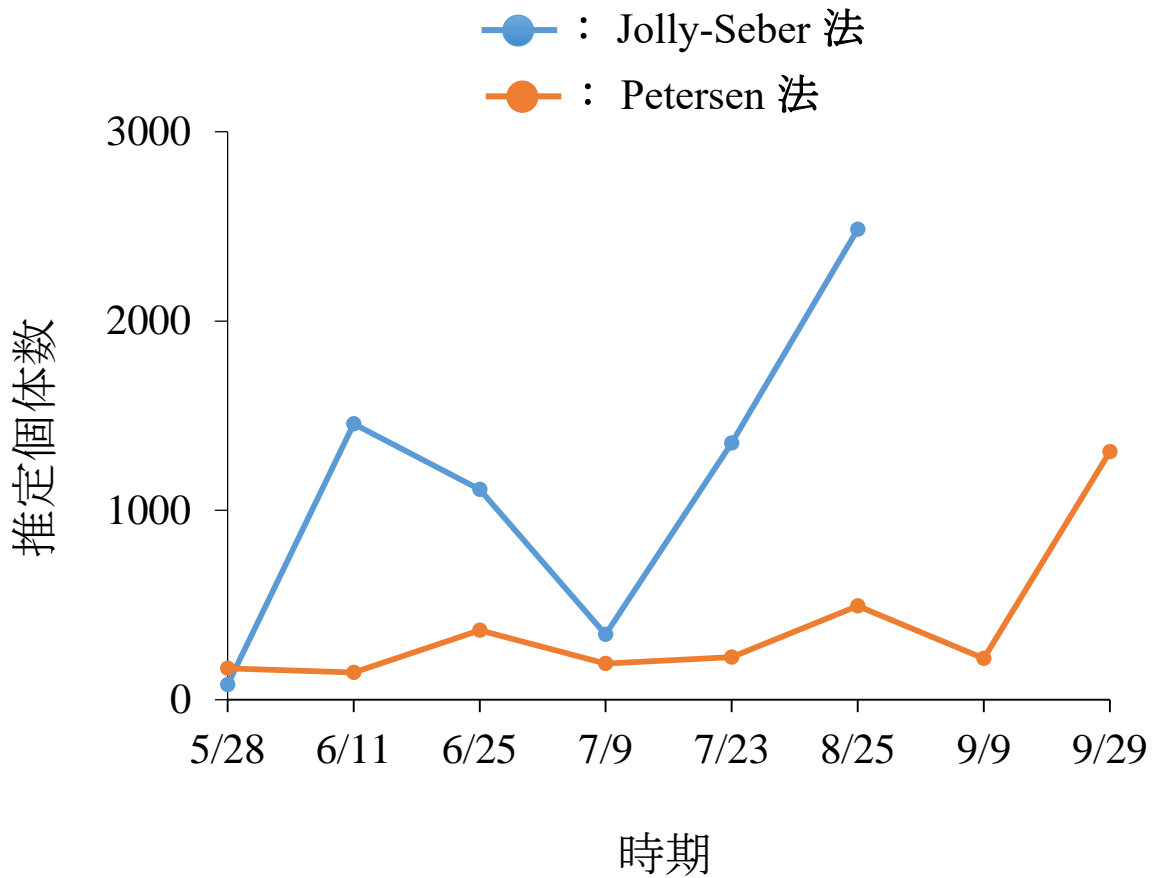


図6 2015年の調査地A（河北潟）におけるアカミミガメの推定個体数。捕獲と標識再捕法により Petersen法と Jolly-Seber法の2つの推定法で個体数を算出した。

■ :アカミミガメ    ■ :クサガメ  
■ :イシガメ        ■ :イシガメとクサガメの交雑

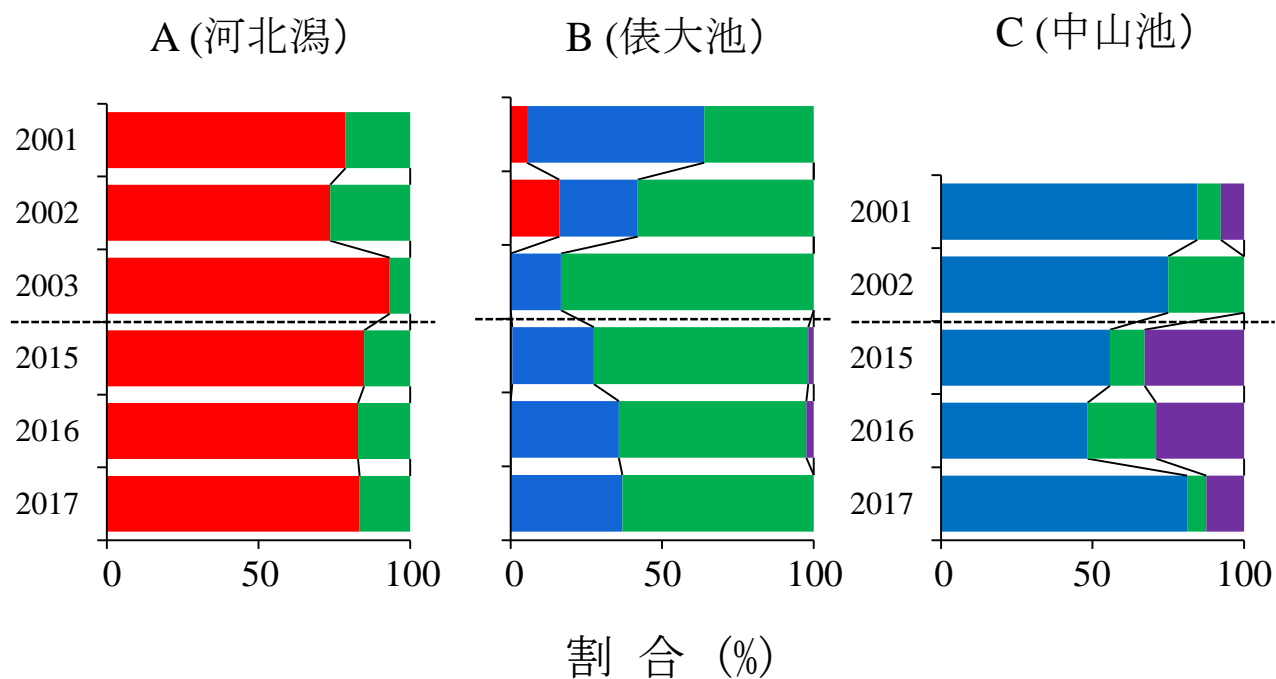
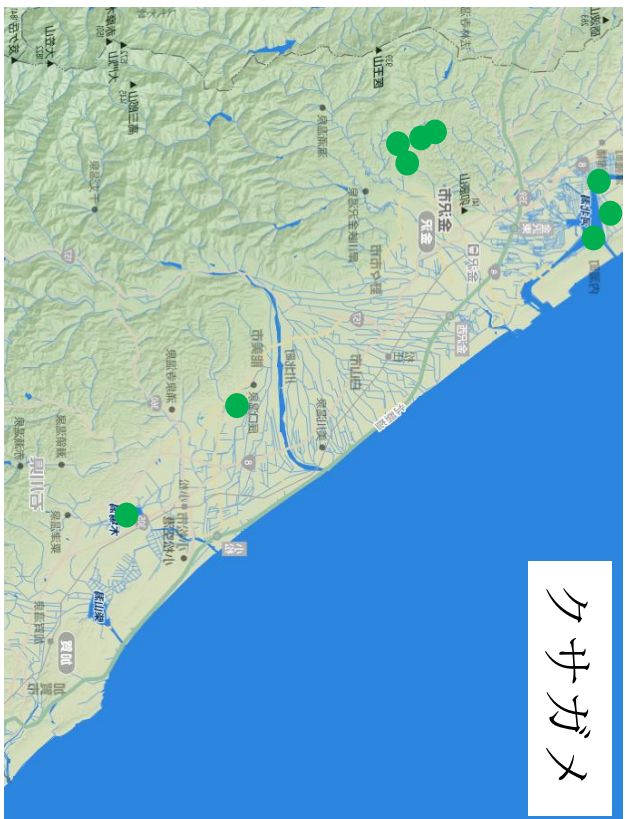
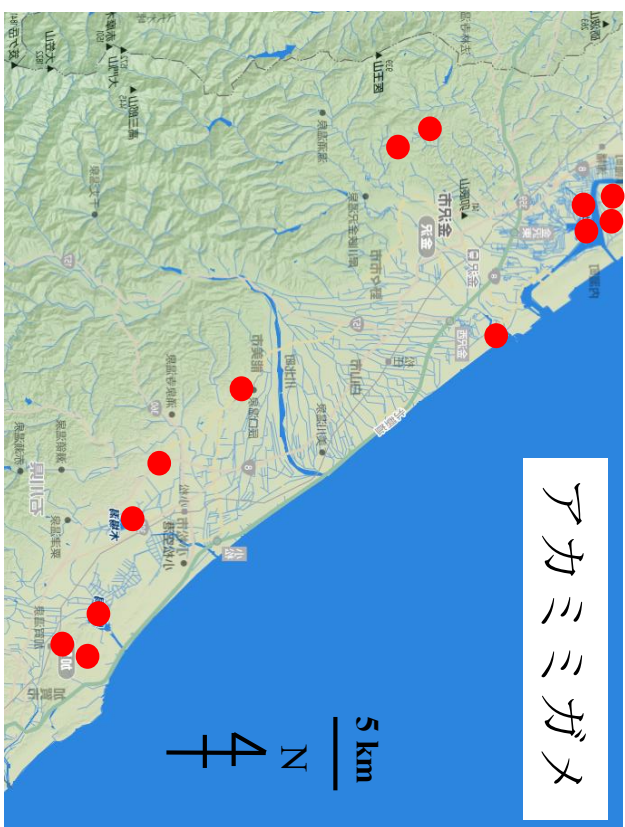


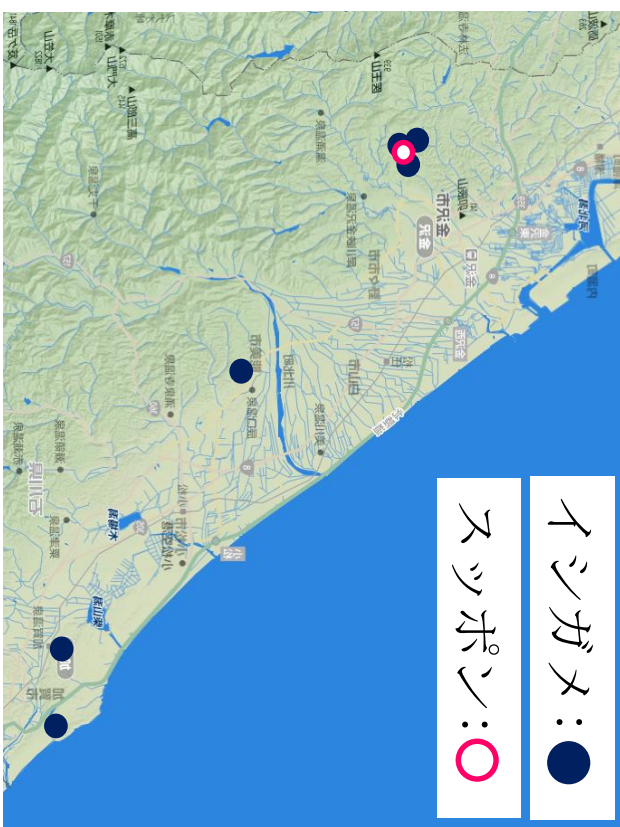
図7 2001-2003年と2015-2017年の調査地A (河北潟)、B (俵大池)、C (中山池) で捕獲された種の構成。調査地Aではアカミミガメが優占していたが、調査地Bではクサガメとイシガメが高頻度で生息していた。また調査地Cではイシガメが優占していたが、2015年以降はクサガメとの交雑種が捕獲された。



クサガメ



アカミミガメ

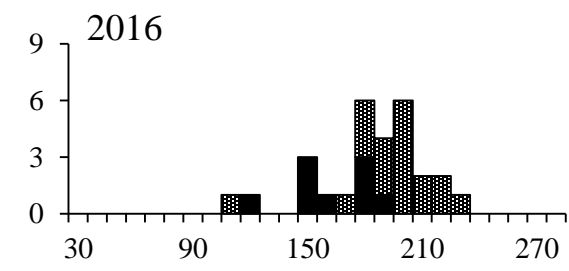
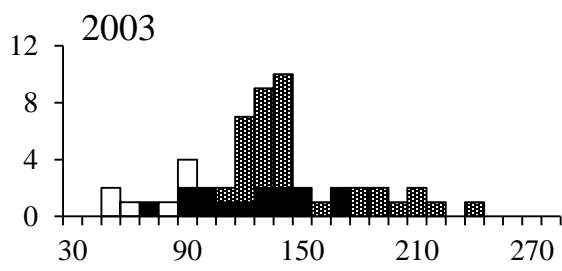
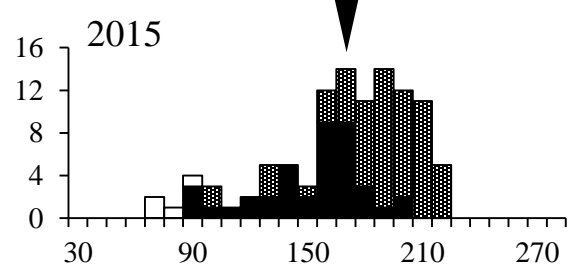
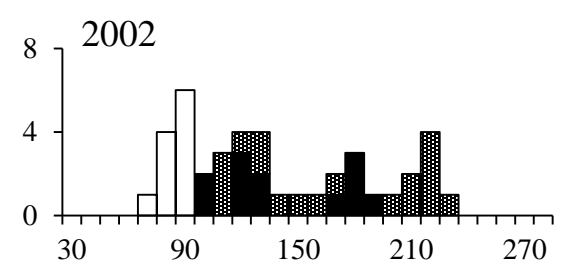
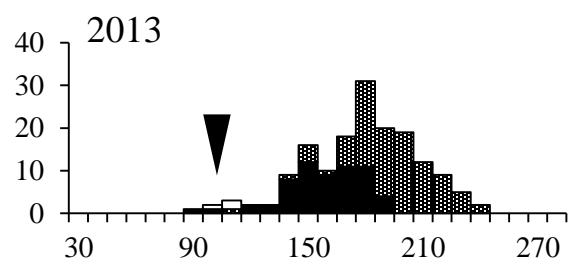
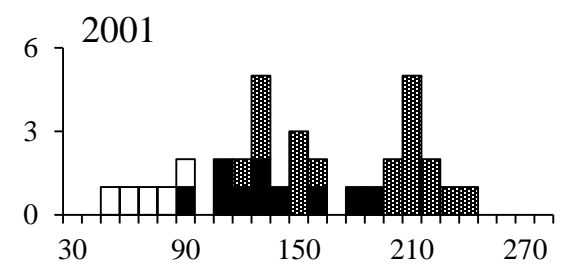


イシガメ：●

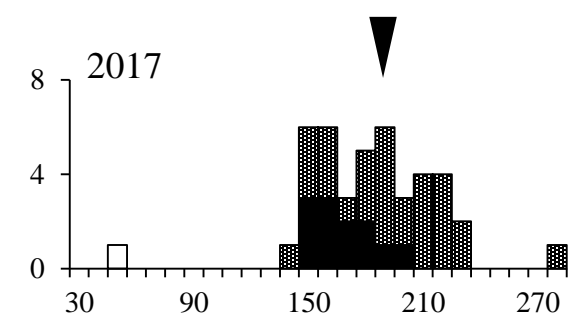
マツホシ：○

図8 2015-2017年に金沢市から加賀市までの湖沼で確認された4種の分布図。アカミミガメは平地に広く分布していたが、在来種3種は山間部の池で多かった。

捕獲個体数



■ : 雄    ■ (stippled) : 雌  
 □ : 幼体



背甲長 (mm)

図9 調査地A (河北潟) で捕獲されたアカミミガメの背甲長の頻度分布。2001-2003年と比較し2013-2017年には背甲長の大きな個体が増加し、幼体の捕獲個体数も減少した。▼は2013-2017年の間に2回再捕獲された個体の甲長の分布を示す。

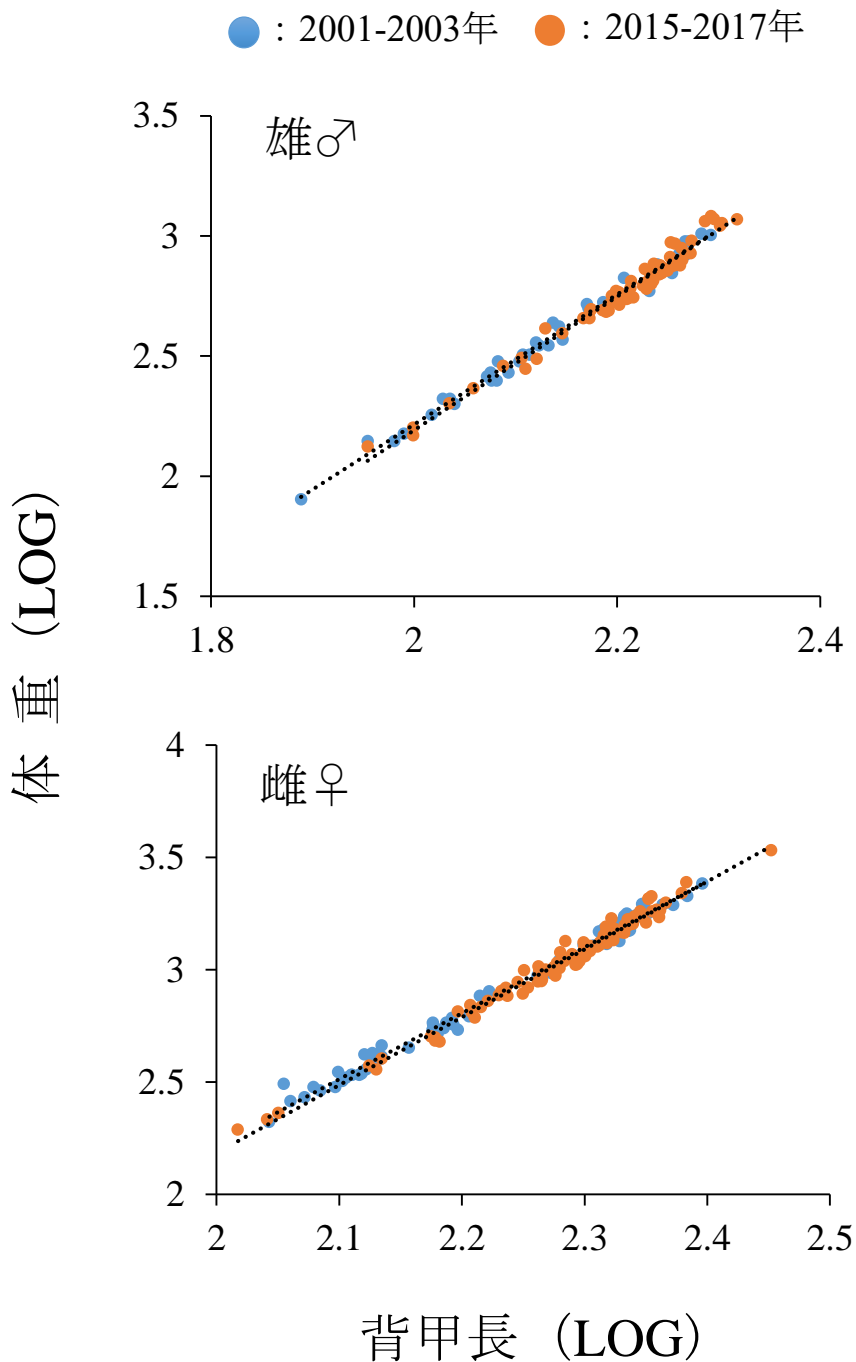


図10 調査地A(河北潟)におけるアカミミガメの背甲長と体重のアロメトリーの変化。オスでは年間で回帰直線の傾きに差がなかったが ( $P=0.13$ )、メスでは差がみられ ( $P=0.008$ )、背甲長の成長に対して体重の低下がみられた。

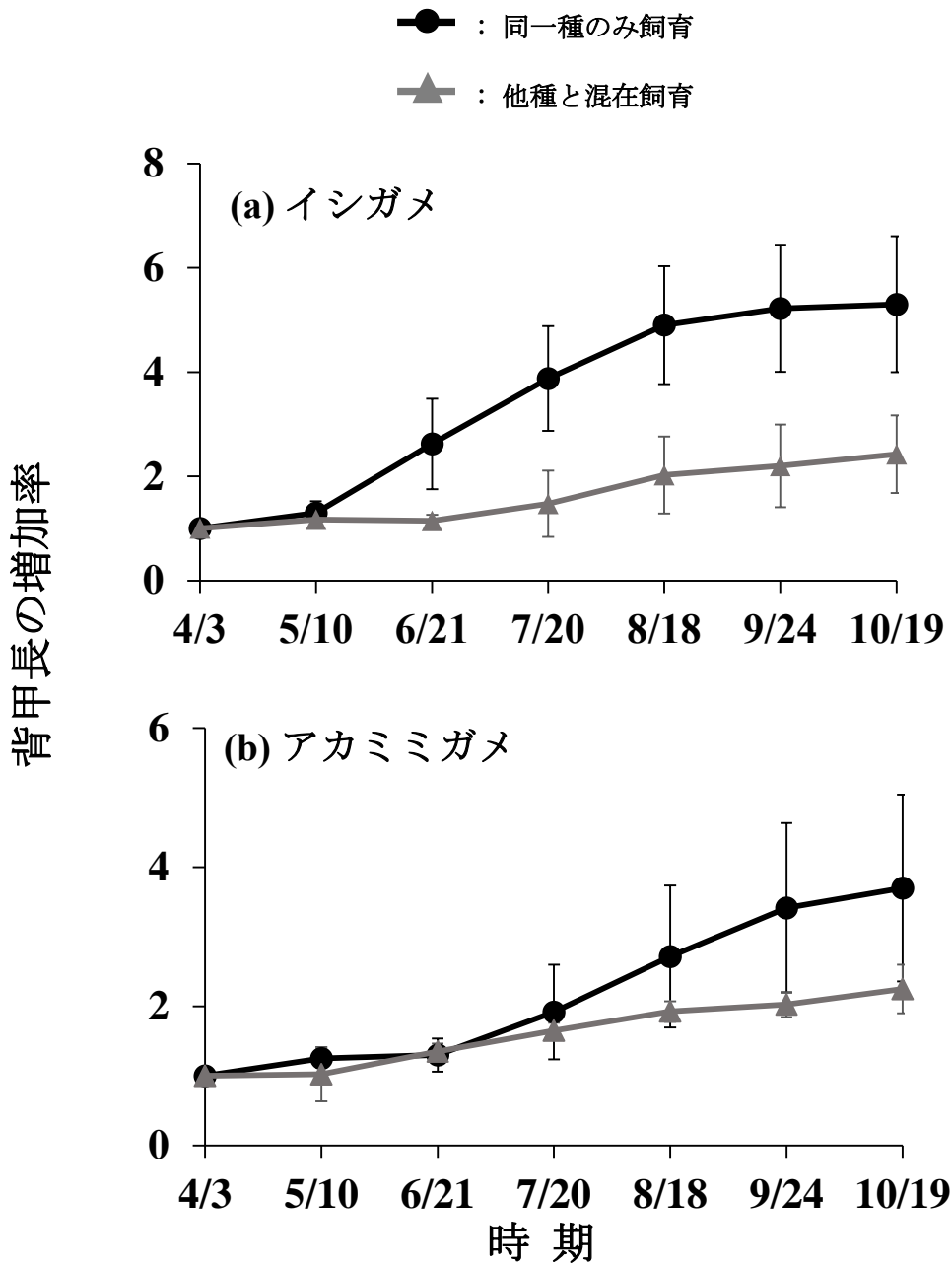


図11 (a)イシガメと(b)アカミミガメの野外飼育実験の結果。アカミミガメと共に飼育したイシガメグループでは、同一種のみグループと比較して体長が著しく小さくなっていた ( $F_{1,89}=22.5, P<0.001$ 、二元配置分散分析)。またアカミミガメでもイシガメと共に飼育した場合、体長は小さくなった ( $F_{1,68}=4.8, P=0.03$ )。

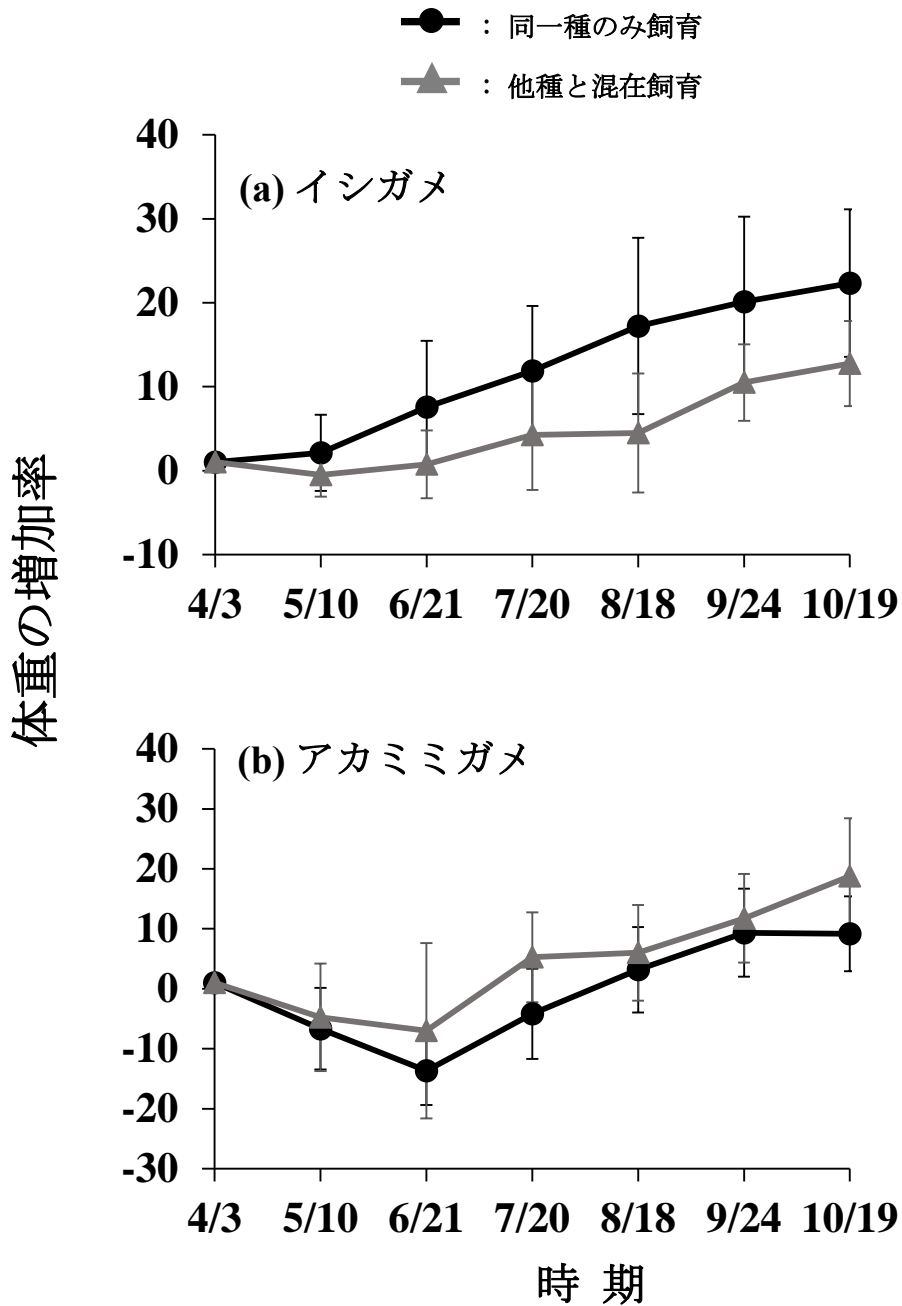


図12 (a)イシガメと(b)アカミミガメの野外飼育実験の結果。アカミミガメと共に飼育したイシガメグループでは、同一種だけのグループと比較して体重が減少していた ( $F_{1,89} = 9.2$ ,  $P = 0.003$ , 二元配置分散分析)。しかし、アカミミガメでは飼育条件間で体重に差は見られなかった ( $P=0.08$ )。

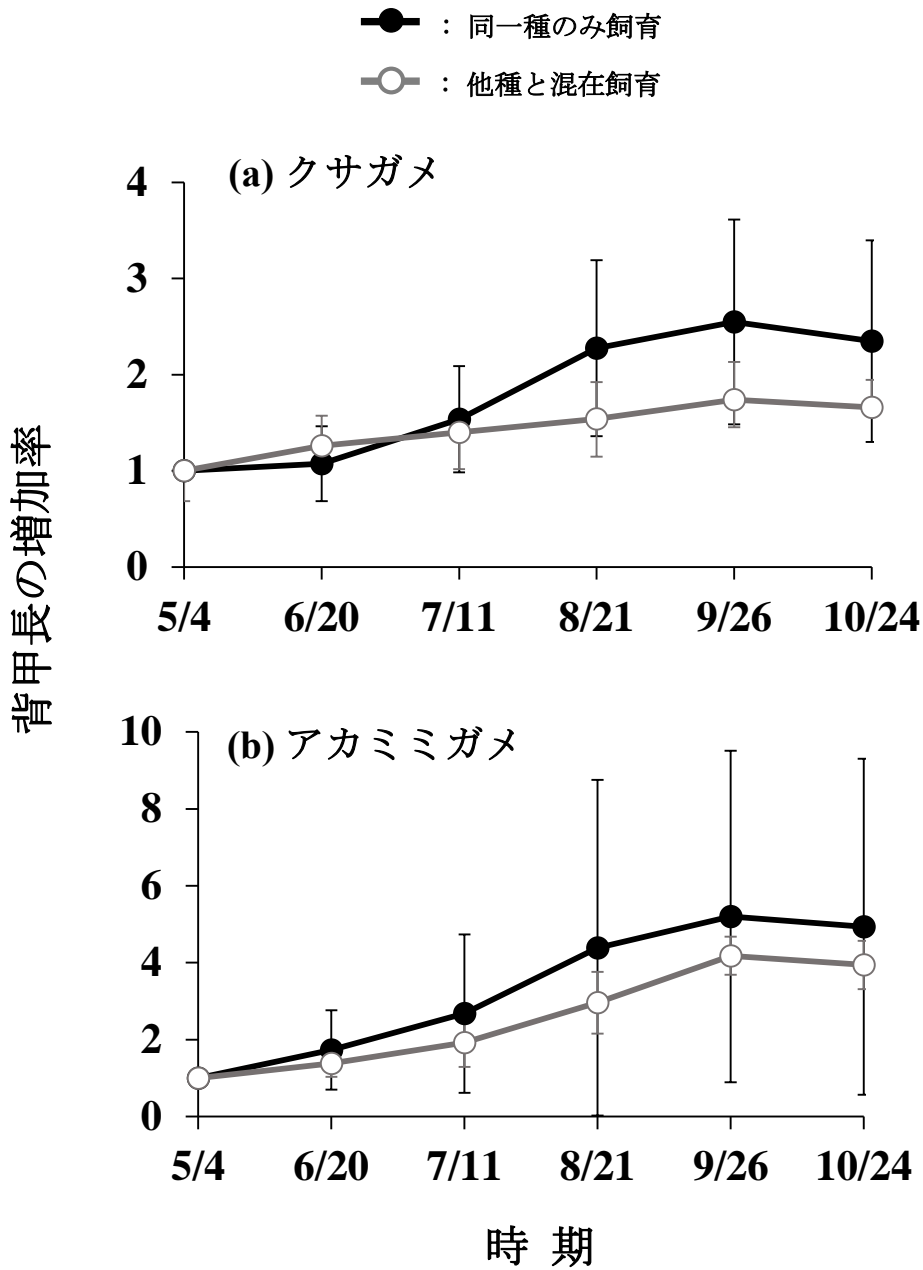


図13 (a)クサガメと(b)アカミミガメの野外飼育実験の結果。クサガメ、アカミミガメ共に飼育条件間で体長増加に差は見られなかった（クサガメ： $P=0.06$ 、アカミミガメ： $P=0.27$ 、二元配置分散分析）。



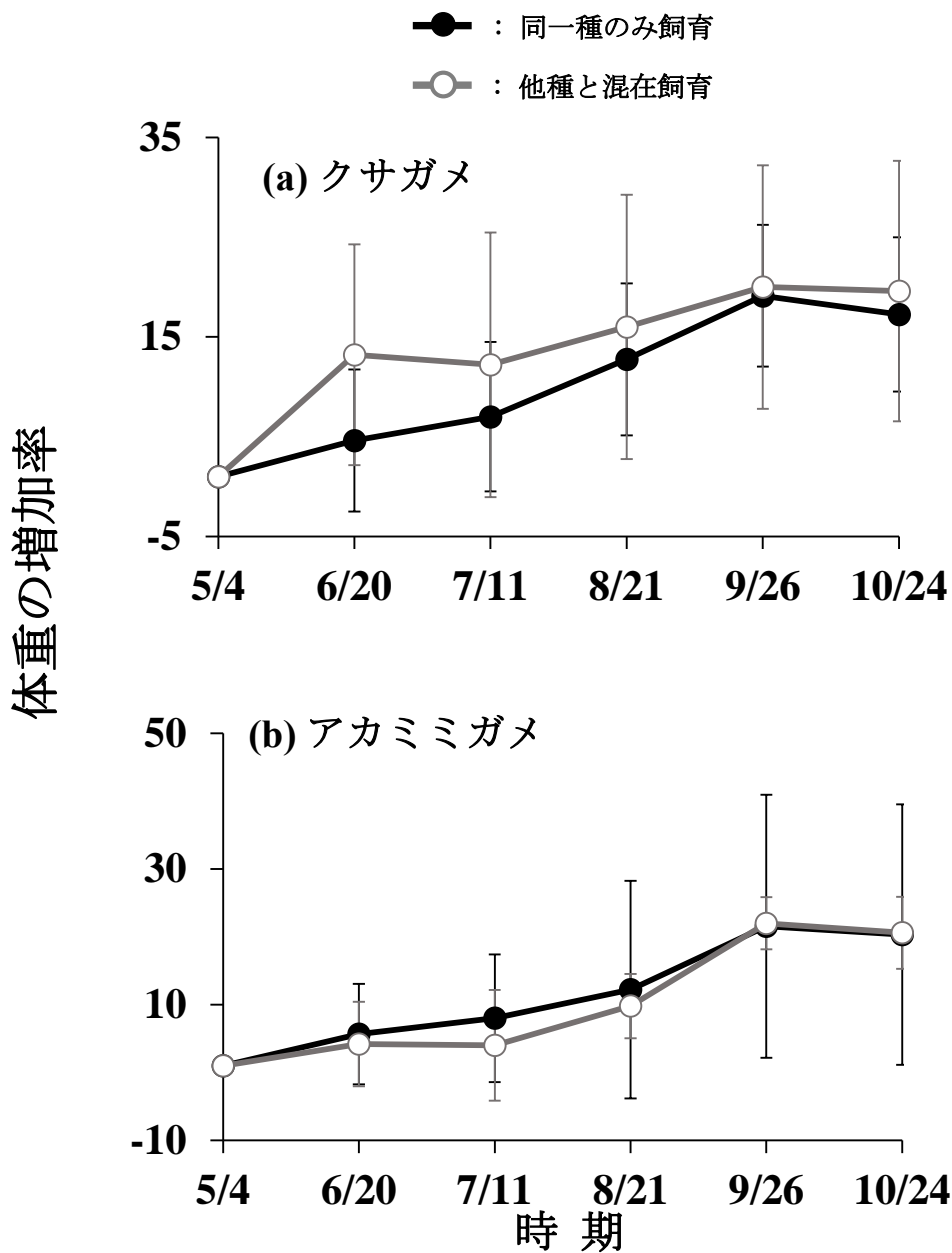
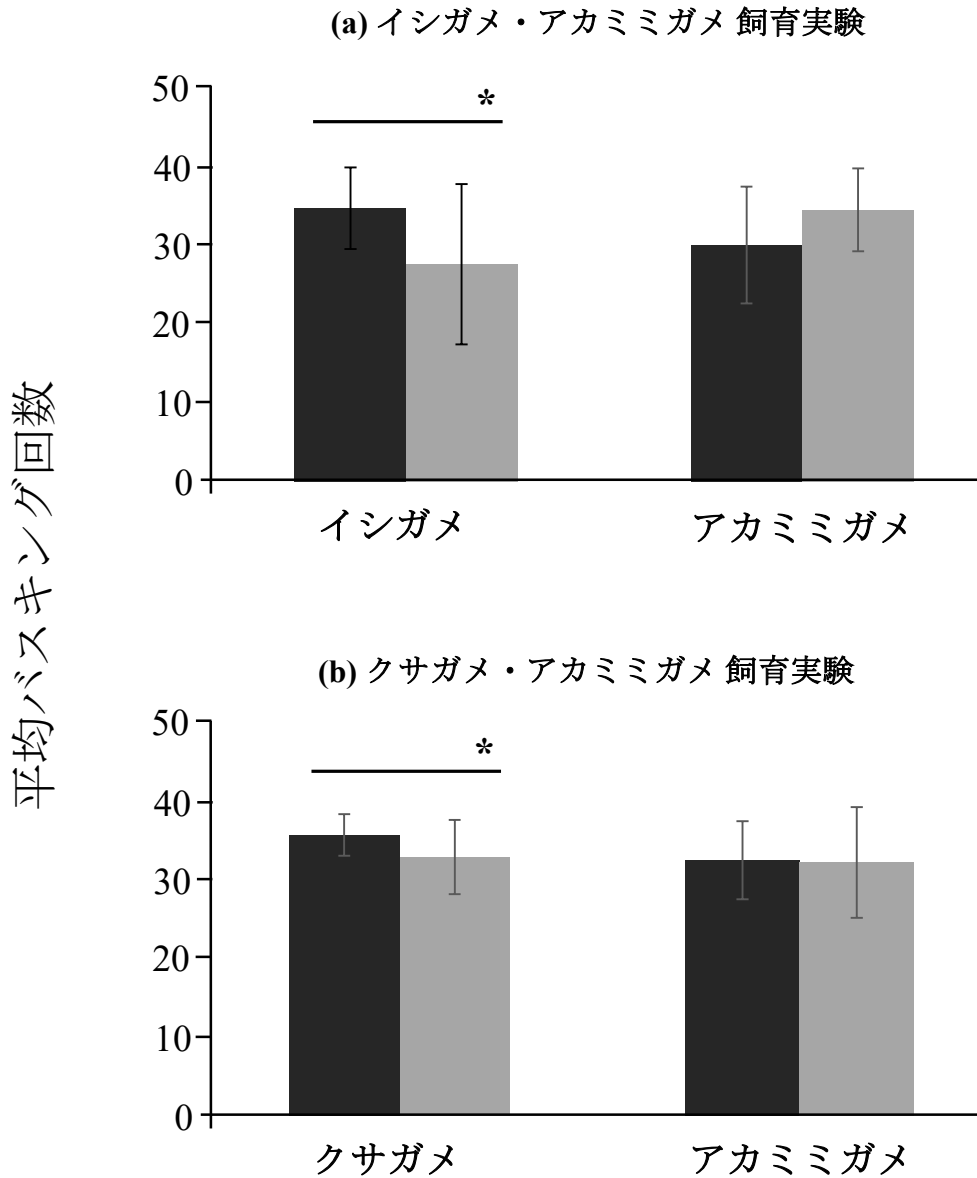


図14 (a)クサガメと(b)アカミミガメの野外飼育実験の結果。クサガメ、アカミミガメ共に飼育条件間で体重増加に差は見られなかった(クサガメ :  $P = 0.2$ 、アカミミガメ :  $P = 0.13$ 、二元配置分散分析)。

■ : 同一種のみ飼育    ■ : 他種と混在飼育



\*:  $P < 0.05$

図15 野外飼育実験における各飼育条件と各種のバスキング頻度。(a) イシガメとアカミミガメを使用した実験では、アカミミガメと共に飼育したイシガメグループでは、コントロールでバスキング頻度は高かったが ( $t=4.4$ ,  $P=0.04$ ,  $t$ 検定)、アカミミガメでは飼育条件間で差は見られなかった ( $P=0.26$ )。また、(b)クサガメとアカミミガメを使用した実験では、アカミミガメと共に飼育したクサガメグループでは、コントロールでバスキング頻度は高かったが ( $t=5.3$ ,  $P=0.025$ ,  $t$ 検定)、アカミミガメでは飼育条件間で差は見られなかった ( $P=0.88$ )。

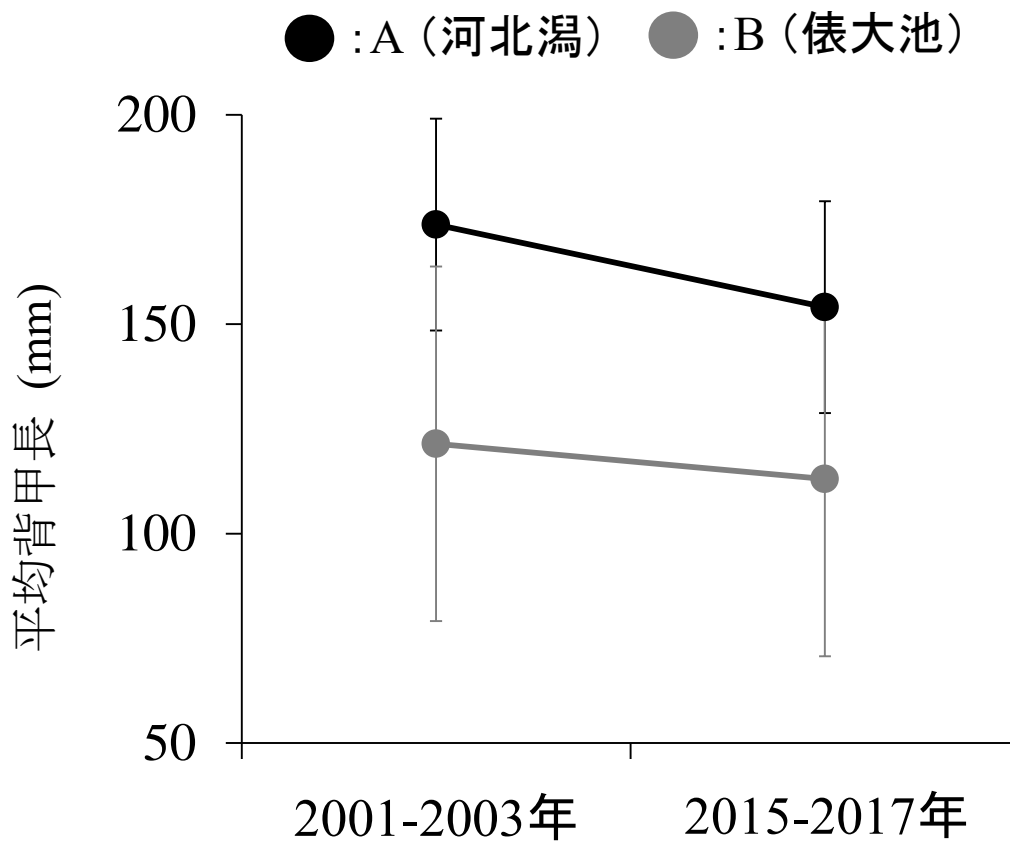


図16 2001-2003年と2015-2017年のクサガメの平均背甲長の変化。アカミミガメが生息していた調査地A（河北潟）では甲長は有意に異なり（ $t=7.3$ 、 $P=0.009$ 、 $t$ 検定）、小さな個体が多くなっていた。一方、イシガメが生息していた調査地B（俵大池）では変化は見られなかった（ $P=0.12$ ）。

● : 2001-2003年   ● : 2015-2017年

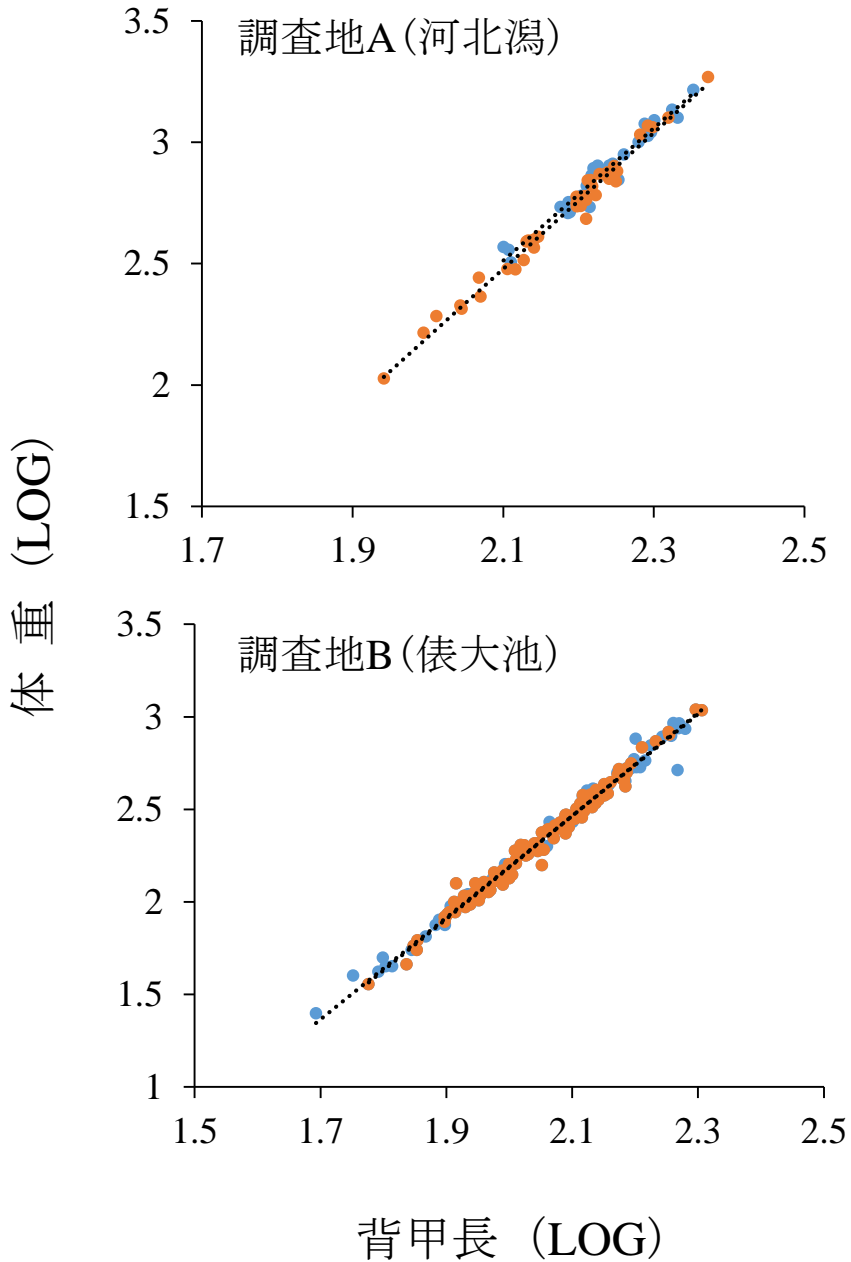


図17 2001-2003年と2015-2017年のクサガメの背甲長と体重のアロメトリー。調査地A(河北瀉)では、年間に回帰直線の傾きに差がみられ ( $P=0.012$ )、背甲長の成長に対して体重は増加していた。しかし、調査地B(俵大池)では年間で傾きに差は見られなかった ( $P=0.15$ )。

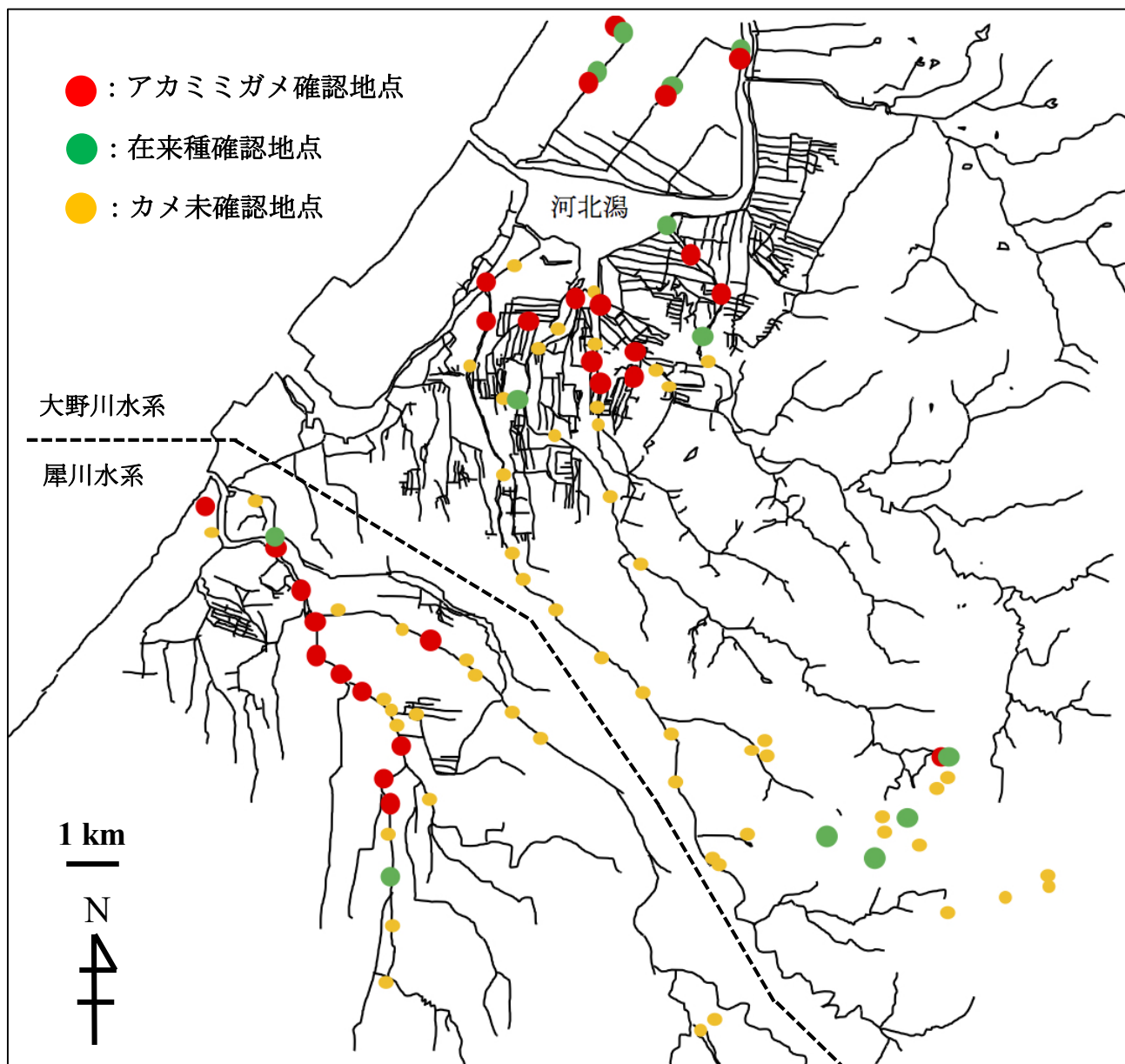


図18 金沢市周辺の野外センサスにおけるカメ類の確認地点。2つの河川水系を含む、約130 km<sup>2</sup>の範囲の河川、水路、湖沼、水田等の湿性環境89地点で調査を行なった。在来種ではイシガメ、クサガメ、スッポンの3種が確認された。

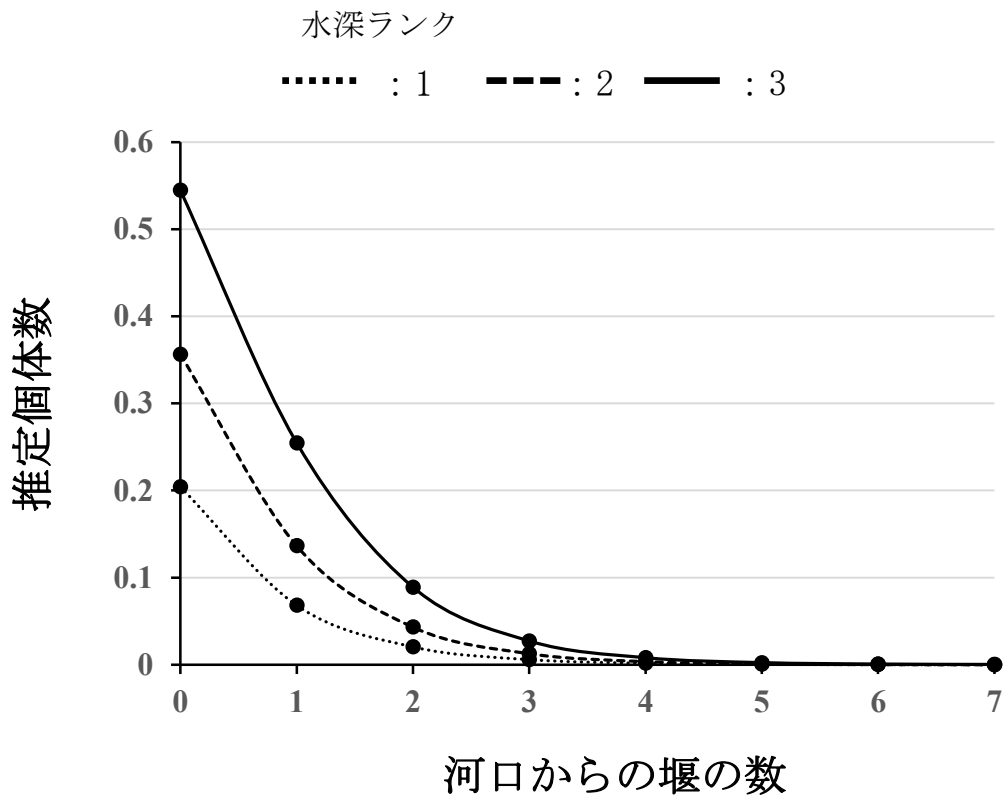


図19 GLMM解析のモデル検討によって得られたアカミミガメ個体数と堰数の間のロジスティック回帰曲線。1-3の値をとる水深ランクごとに回帰グラフを分けて示した。

図20 金沢市における水系図。金沢新港、大野川から河北潟の汽水域を中心とした扇状地であり、犀川、伏見川を主要河川とする犀川水系と、浅野川、金腐川、森下川、津幡川を主要とする大野川水系がある。また河北潟干拓地には大型の承水路がある。



図21 GLMM解析によって推定されたアカミミガメの分布と密度のメッシュ地図。

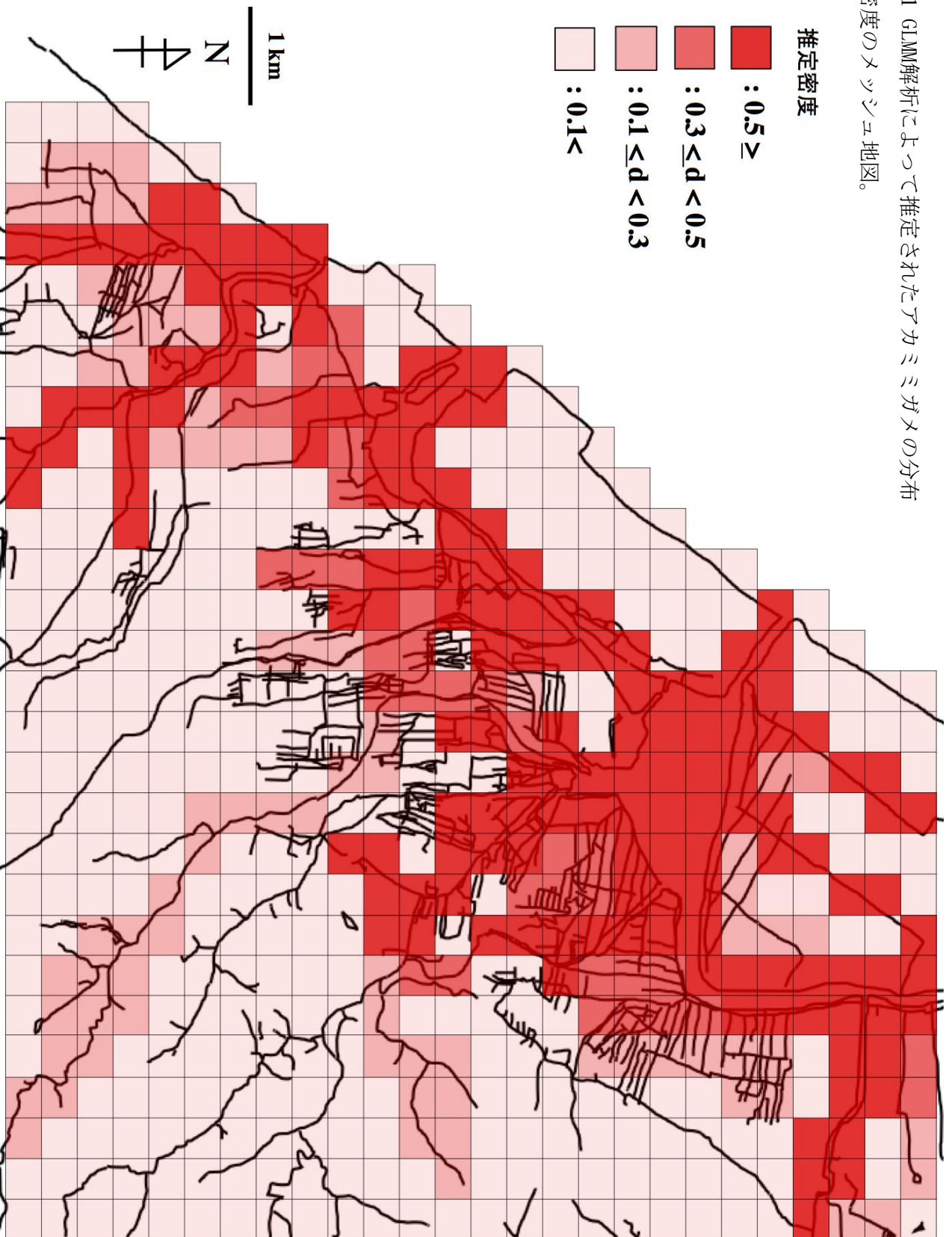
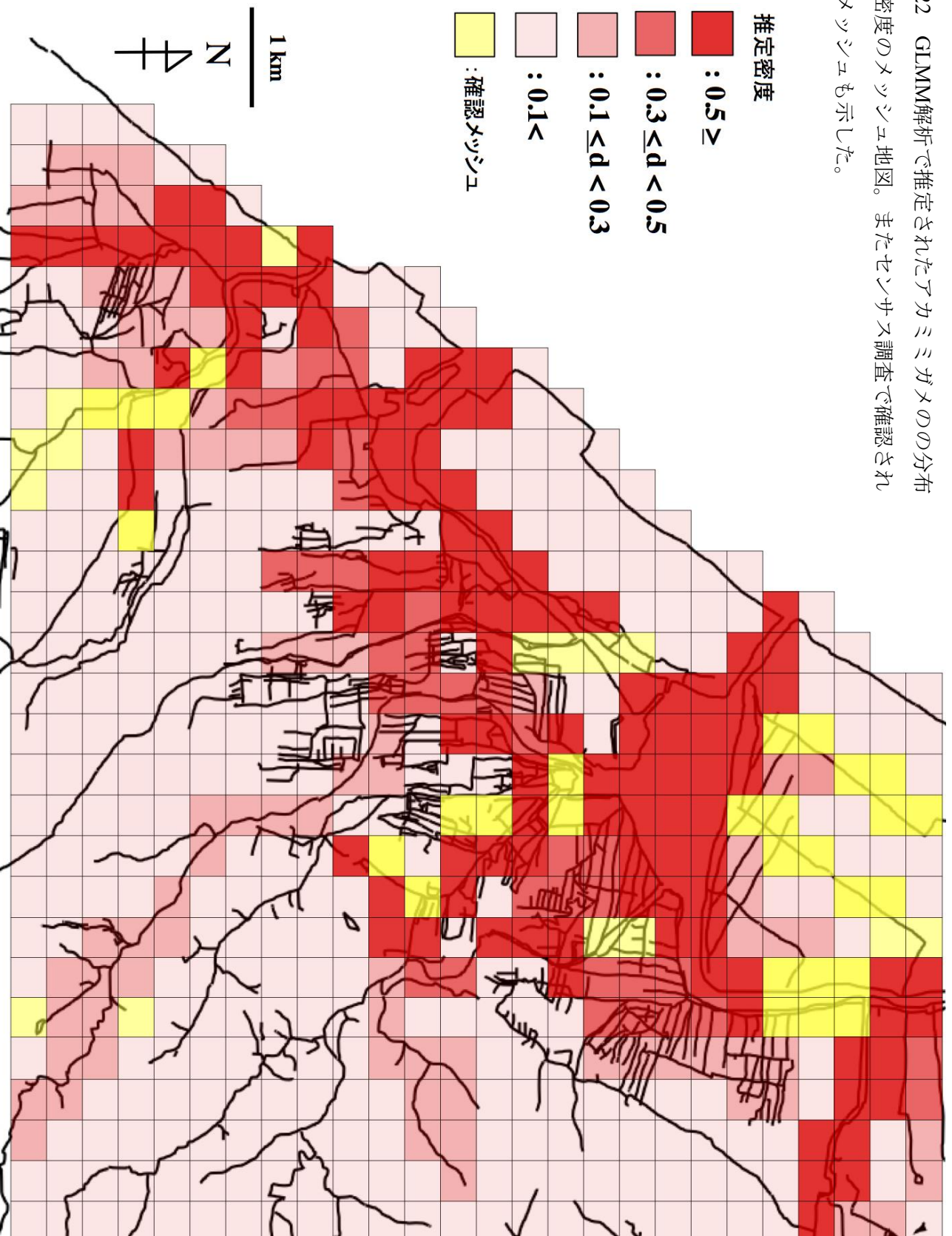




図22 GLMM解析で推定されたアカミミガメの分布と密度のメッシュ地図。またセンサー調査で確認されたメッシュも示した。



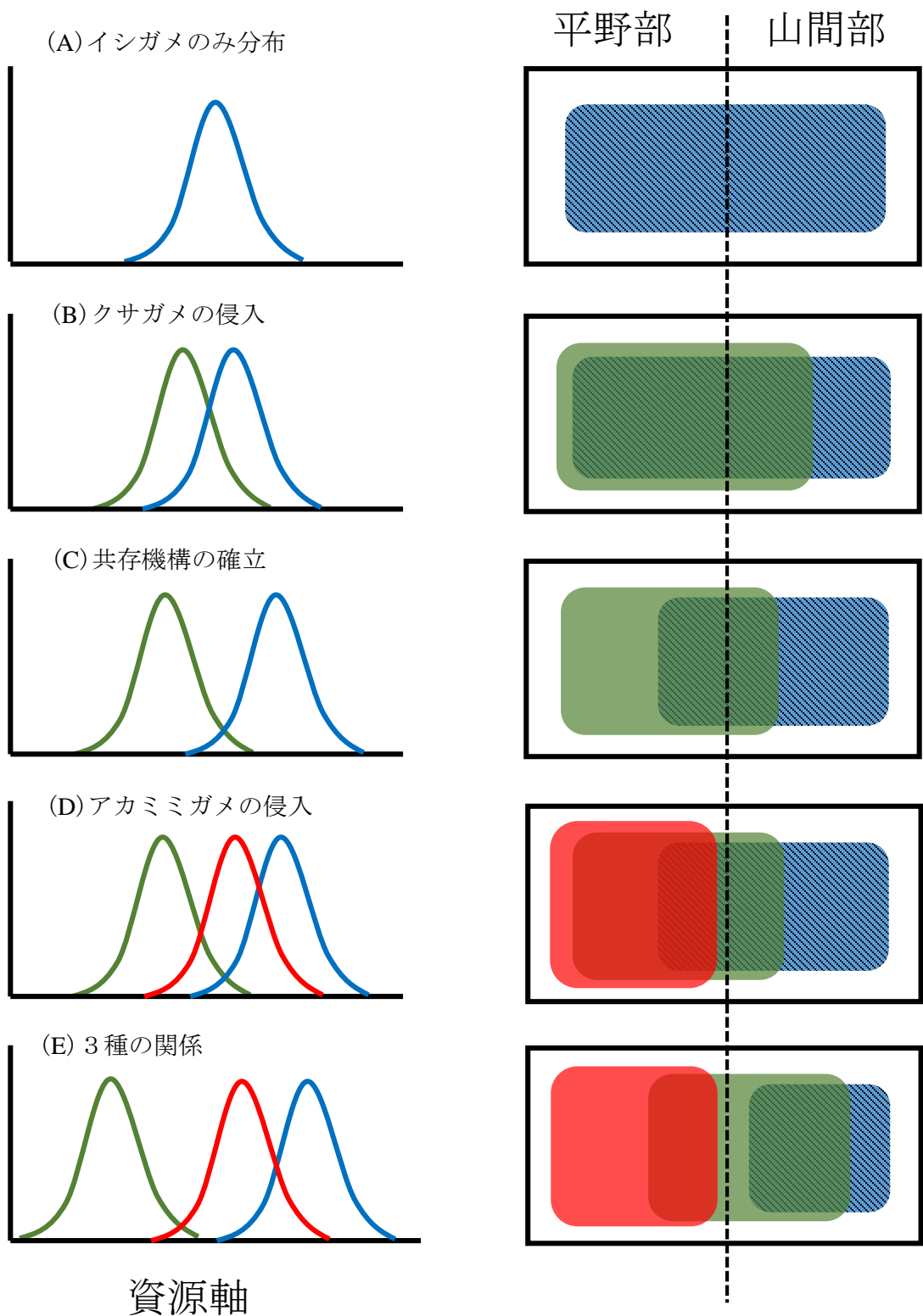


図23 今回の調査および実験により導かれる淡水カメ類のニッチシフト。もともと日本にはイシガメのみが分布していた (A)。江戸時代におきたクサガメ侵入の結果 (B)、在来のイシガメは山間部、クサガメは平野部に生息することでニッチ重複が起きず、共存できた (C)。1970年代以降、北米より持ち込まれたアカミミガメは、クサガメの生息する平野部に侵入した (D)。クサガメはアカミミガメと共存しつつも、山間部へと生息地を広げている (E)。

表1 金沢市の3ヶ所の調査地（A 河北潟、B 俵大池、C 中山池）で捕獲された種と個体数。2015～2017年の総捕獲個体数と捕獲頻度（CPT：捕獲数/トラップ数/捕獲日数）を示した。調査地BとCではイシガメとクサガメの交雑個体も確認された。調査地Aのアカミミガメと調査地Bのクサガメは年によって捕獲頻度に差が見られ、2016年に減少していた（一元配置分散分析）。

調査地	種		2015	2016	2017	<i>F</i>	<i>P</i>	
A 河北潟	アカミミガメ	捕獲個体数	134	29	45	13.0	<0.001	
		CPT	1.24	0.29	0.83			
	クサガメ	捕獲個体数	24	6	9	2.1	0.13	
		CPT	0.22	0.06	0.17			
B 俵大池	アカミミガメ	捕獲個体数	1	0	0	-	-	
		CPT	0.02	0	0			
	イシガメ	捕獲個体数	45	15	14	1.6	0.21	
		CPT	0.75	0.27	0.47			
	クサガメ	捕獲個体数	118	26	24	5.5	0.01	
		CPT	1.97	0.47	0.80			
イシガメとクサガメ の交雑個体		捕獲個体数	3	1	0	0.6	0.52	
		CPT	0.05	0.02	0			
C 中山池	イシガメ	捕獲個体数	34	15	13	1.1	0.35	
		CPT	0.57	0.27	0.43			
	クサガメ	捕獲個体数	7	7	1	1.0	0.38	
		CPT	0.12	0.13	0.03			
	イシガメとクサガメ の交雑個体		捕獲個体数	20	9	2	2.6	0.09
			CPT	0.33	0.16	0.07		

表2 センサス調査と捕獲調査の分布データから算出した種間ニッチ重複係数。  
Piankaの $\alpha$ 係数を使用した。アカミミガメは在来種のイシガメ、スッポンとの  
水平分布の重複が低かった。

	アカミミガメ	イシガメ	クサガメ	スッポン
アカミミガメ	-	0.01	0.30	0
イシガメ		-	0.26	0.15
クサガメ			-	0.26

表3 加賀市の3ヶ所の調査地（D 富塚池、E 作見池、F 片野鴨池）で捕獲された種と個体数。2001～2003年と2015年の総捕獲個体数と捕獲頻度（CPT：捕獲数/トラップ数/日数）を示した。2015年は各調査地でイシガメの捕獲数が著しく減少した。

調査地	種		2001	2002	2003	2015
D 富塚池	イシガメ	捕獲個体数	94	29	8	0
		CPT	0.67	0.26	0.16	0
E 作見池	イシガメ	捕獲個体数	43	10	4	3
		CPT	0.31	0.09	0.08	0.05
	クサガメ	捕獲個体数	4	0	0	0
		CPT	0.03	0	0	0
F 片野鴨池	イシガメ	捕獲個体数	37	10	3	2
		CPT	0.26	0.09	0.06	0.03
	イシガメとクサ ガメの交雑個体	捕獲個体数	0	0	0	2
		CPT	0	0	0	0.03

表4 2001年から2017年の間に調査地A（河北潟）で捕獲されたアカミミガメの形態的特徴。5種類の計測値とそれらから算出したBCI値の平均値を示した。

	捕獲数	背甲長 (mm)	腹甲長 (mm)	甲幅 (mm)	甲高 (mm)	体重 (g)	BCI × 10 <sup>4</sup>
雄							
2001-2003	37	138.8 ± 31.2	127.8 ± 28.0	113.1 ± 21.7	52.6 ± 9.5	447.0 ± 267.6	1.51 ± 0.15
2015-2017	61	162.0 ± 25.4	145.9 ± 23.1	127.0 ± 17.2	60.8 ± 9.5	633.2 ± 259.0	1.41 ± 0.13
<i>t</i>		3.97	3.38	3.41	4.05	3.37	3.61
<i>P</i>		0.0001	0.001	0.0009	0.0001	0.0011	0.0005
雌							
2001-2003	69	170.2 ± 40.3	158.9 ± 37.9	135.6 ± 27.6	62.4 ± 13.6	923.2 ± 620.0	1.61 ± 0.12
2015-2017	110	195.2 ± 28.0	182.4 ± 26.1	152.4 ± 18.9	80.2 ± 12.7	1230.5 ± 494.0	1.56 ± 0.10
<i>t</i>		4.88	4.88	4.64	7.93	3.64	3.22
<i>P</i>		< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.0004	0.0015

表5 一般化線形混合モデルによるアカミミガメ密度と河川の地理的条件との関係性の解析。野外センサスの調査地点64ヶ所におけるアカミミガメの観察個体数を依存変数とし、各地点の3つの地理的要因を独立変数とした。河口部からの堰の数と水深ランクを変数としたモデル1の適合性がもっとも高く、堰数の負の効果が高かった。

モデル	環境要因			残差	AIC	Δ
	堰数	水深ランク	川幅			
1	-1.25**	0.77*	-	-2.13***	140.3	-
2	-1.21**	0.8*	-0.001	-2.16*	142	1.7
3	-1.42***	-	-0.0004	-0.32	144	3.7
4	-	1.34***	-0.002	-4.31***	154.4	14.1

\*: P<0.05, \*\*: P<0.03, \*\*\*: P<0.01

表6 2015～2017年の捕獲調査とセンサス調査で確認された各種の分布のマトリクス図。各種が観察された地点数を示しており、2種以上の重複は観察されなかった。複数種の分布は20地点（27.5%）で確認され、アカミミガメはクサガメ、スッポンと同じ地点で確認されることが多かった。

	アカミミガメ	イシガメ	クサガメ	スッポン
アカミミガメ	31	2	6	7
イシガメ	-	7	4	1
クサガメ	-	-	10	2
スッポン	-	-	-	10