

原著論文 [Original Paper]

要注意外来種ミシシippアカミミガメのため池群における
分布決定要因：水質および人間による捨てやすさを考慮して

覺田青空¹⁾・土居秀幸²⁾・片野泉^{3), 4)*}

(2019年12月3日受付, 2020年2月4日受理)

Evaluation of the distribution of invasive turtle species *Trachemy scripta elegans* in the ponds regarding water quality and possibility of anthropogenic dumping

Aozora KAKUDA¹⁾, Hideyuki DOI²⁾ and Izumi KATANO^{3), 4)*}

摘要

ため池は生物多様性の観点から重要な生息地の一つであるが、ミシシippアカミミガメ (*Trachemy scripta elegans*) をはじめとする様々な外来生物の侵入・定着が問題視されている。本研究では、ため池の水質特性、水質に対して大きな影響を及ぼしている周囲の土地利用、調査時のため池周囲の状況の3点に着目して姫路市内のため池の特性を把握しながら、どのような池でアカミミガメが遺棄されやすいのかを明らかにするための調査・解析を行った。調査した兵庫県姫路市のため池100面は、全体的にみると水質条件が比較的良好な池が多かった。水質と土地利用との関係について解析した結果、ため池から半径200m以内の土地利用に多く影響を受けていることが示唆された。また、ため池間の距離が大きくなるとアカミミガメが観察されない、つまりアカミミガメは一部のため池に固まって分布している傾向がみられ、アカミミガメは一度捨てられたため池からあまり分布を拡大せず繁殖をしていると考えられた。水質的にはアカミミガメは懸濁物や溶存有機物の少ないため池に遺棄されやすいことが示唆された。

キーワード：ミシシippアカミミガメ、外来生物、ため池、水質

Abstract

Tameike pond harbors are as important habitats for freshwater biodiversity, while many invasive species, such as red-eared sliders (*Trachemy scripta elegans*), have been introduced in the past decades. Here, we focused how the people recognize Tameike pond easy to dump such invasive species, because such aspect on biodiversity conservation has been ignored. In this study, we conducted a field survey to evaluate the pond types for anthropogenic dumping an invasive species, red-eared sliders with water quality, the surrounding

-
- 1) 奈良女子大学大学院 人間文化研究科 〒630-8506 奈良県奈良市北魚屋東町 Graduate School of Humanities and Sciences, Nara Women's University, Kitauoya-higashimachi, Nara, 630-8506 Japan
 - 2) 兵庫県立大学大学院 シミュレーション学研究所 〒650-0047 神戸市中央区港島南町 7-1-28, Graduate School of Simulation Studies, University of Hyogo 7-1-28 Minatojima-minamimachi, Chuo-ku, Kobe, 650-0047, Japan
 - 3) 奈良女子大学大学院自然科学系生物科学領域 〒630-8506 奈良県奈良市北魚屋東町, Faculty, Division of Natural Science, Nara Women's University, Kitauoya-higashimachi, Nara, 630-8506 Japan
 - 4) 奈良女子大学 共生科学研究センター 〒630-8506 奈良県奈良市北魚屋東町, KYOUSEI Science Center, Nara Women's University, Kitauoya-higashimachi, Nara, 630-8506, Japan
- * 連絡代表者 (Corresponding author): katano@cc.nara-wu.ac.jp

land use in the 100 ponds in Himeji, Hyogo prefecture, Japan. Our results showed that the water qualities, including nutrients, were comparatively less eutrophic. We performed Type II regressions for the relationships between water qualities and land-use covers, most of water qualities related with land-use covers within 200-m radius of each pond. We intensively observed red-eared sliders in the 21 ponds, while did not observe at the apart from the observed ponds. We also found that red-eared sliders tend to be dumped in ponds with less concentrations of suspended solid and dissolved organic matters.

Keywords: *Trachemy scripta elegans*, invasive species, tameike pond harbors, water quality

はじめに

兵庫県にはため池が 24,400 面 (2019 年 5 月現在: 農林水産省) と全国で最も多く存在しており, 身近な水域の一つであるといえる。ため池は希少水生生物の生息場所になるなど, 生物多様性の観点から重要な生息地の一つであるが, ミシシippiaアカミミガメ (*Trachemy scripta elegans*, 以下アカミミガメとする) をはじめとする様々な外来生物の侵入・定着が問題視されている (鷲谷ら, 2010)。アカミミガメは米国南東部原産の外来種で, 国際自然保護連合 (IUCN) で世界の侵略的外来種ワースト 100 に指定されている (Powell et al., 2016)。日本では 1960 年代頃からペットとして飼育されたものが遺棄され, 全国各地で分布が確認されており, 農作物への食害や在来ガメの激減など, 生態系への悪影響が懸念されている (有馬ら, 2008)。このような懸念からアカミミガメは積極的な防除対策を必要とする「緊急対策外来種」に位置付けられており, 早急に対策を行うべき要注意外来生物である (環境省, 2019)。しかし, アカミミガメが今後特定外来生物に指定されれば, 飼育下の個体の野外への大量遺棄が発生する恐れがある (環境省, 2019)。

アカミミガメの防除対策を適切に行うためには, まずは正確な分布把握が重要である。正確な分布把握に関して, 目視調査や捕獲調査, 環境 DNA 調査など様々な方法があるが, 実際にアカミミガメ防除プロジェクトが全国各地で行われており, 調査手法などのマニュアルの整備が進んでいる (環境省, 2019)。そのような中, 今後遺棄されやすくなる可能性が高いという観点から, 人間がどのような場所に遺棄しやすいのかを把握することも重要だと考えられる (Urošević et al., 2016)。人間がアカミミガメを遺棄しやすいため池に特徴があることがわかれば, 防除対策に生かすことができるかもしれない。しかし, ため池に関わる人間がどう行動するかという研究は, 保全の方向, 例えば生物保全に対するため池管理者の意識変化 (渡辺・高村, 2006) や住民のため池に対する価値観や行動変化 (村川ら, 2005, 今井ら, 2010)

についてはわかってきている一方で, 分布を拡大する要因として重要な, 人間がどのようなため池を外来生物の遺棄場所として認識する傾向にあるのかなどは未だ不明である。

本研究で対象とした兵庫県姫路市周辺においては, 1970 年頃からアカミミガメの野生化が確認されている (浜島ら, 2001)。そこで本研究では, ため池の水質特性, 水質に対して大きな影響を及ぼしている周囲の土地利用 (浜島ら, 2001), 調査時のため池周囲の状況の 3 点に着目して姫路市内のため池の特性を把握しながら, どのような池でアカミミガメが遺棄されやすいのかを明らかにすることを目的とした。

方法

野外調査は, 2016 年 7 月 21 日から 2016 年 11 月 16 日にかけて, 兵庫県姫路市のため池 100 面において行った (図 1)。調査日の選定には, 当日および前日に雨天の日を除いた。調査では最初に約 3 分間, 岸から目視で確認できたアカミミガメの目視数を記録した。写真撮影の後, ため池表層水の pH, 電気伝導度 (Electrical conductivity, mS/m) と水温について, pH 比色測定器 (ADVANTEC ATC300DA), EC メーター (TOACT-27112B DKK) を用いて測定した。また, GPS で現地の緯度・経度を計測した後, 護岸率 (0-100%, 10%刻み) を記録した。水質分析用の水サンプルとして表面水を岸から採水した (n=1)。採水は 500 mL のポリ瓶を用いて行い, 保冷して実験室に持ち帰った。

持ち帰った水サンプルは懸濁物 (Suspended solid, SS), クロロフィル a (Chl. a) 測定用にそれぞれ 1 枚ずつガラス繊維濾紙 (GF/F, GE Healthcare) を用いてろ過した。SS 測定用の GF/F フィルターは予め燃焼・乾燥させてから精密上皿天秤 (Sartorius CPA2252) で重量測定したものをを用いた。濾過量は概ね 100-250 mL を目安にし, フィルターが色づくまで行い, 濾過量を記録した。水サンプルの濾過後, 濾液は水質分析用としてポリプロピレン瓶に



図 1. 調査地点.
Fig.1. Study sites.

約 80 mL をとり、 -20°C で冷凍保存した。また、GF/F フィルターも同様に -20°C で冷凍保存した。調査計画の不備のため、リン・窒素などの栄養塩データは 3 面分、有機物データは 6 面分が欠失している。

SS 測定用の GF/F フィルターは解凍後、 60°C の定温乾燥機 (Yamato DX402) で一晩以上乾燥させた後 450°C の電気マッフル炉 (Yamato FO410) で 2 時間燃焼させ、精密上皿天秤で重量を測定した。 450°C 燃焼重量からフィルター重量を差し引いたものを SS とした。

Chl. a 測定用の GF/F フィルターは解凍後、99.5%エタノールに一晩以上液浸させて色素を抽出し、750 nm, 663 nm, 645 nm, 630 nm の波長における吸光度を分光光度計 (SHIMADZU UVmini-1240) を用いて測定した。この測定結果から式 (1) を用いて Chl. a (mg/L) を算出した (西條・三田村, 1995)。

$$\text{Chl. a (mg/L)} = \{(11.64 \times E663 - 2.16 \times E645 + 0.1 \times E630) \times k\} / V \quad (1)$$

k: 抽出エタノール量 (mL); E663, E645, E630: 波長 663, 645, 630 nm における吸光度から 750 nm の吸光度をそれぞれ差し引いた値; V: 水サンプル量 (L)

水質分析では、リン酸態リン ($\text{PO}_4\text{-P}$)、硝酸態窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$)、全リン (TP)、全窒素 (TN)、孔径 $1 \mu\text{m}$ 程度の濾紙を通過する溶存有機物 (DOM: Dissolved Organic Matter)、溶存態に加え懸濁態有機物も全て測定した全有機物 (TOM: Total Organic Matter) を測定した。窒素・リンはそれぞれ、紫外線吸光法とモリブデンブルー法で測定した。測定にあたり、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、TN は NaNO_3 溶液 (硝酸イオン標準液) を、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、TP は NaH_2PO_4 溶液 (リン酸イオン標準液) を希釈したスタンダード系列を用いて検量線を作成した。TN、TP 測定用の水サンプルとスタンダード系列は、ねじ口試験管に 10 mL ずつ入れ、2 mL のアルカリペルオキシソ二硫酸カリウム溶液を添加混合した後に 121°C 、60 分の設定でオートクレーブ (ALP KTS-2346) にかけた。オートクレーブ終了後、まだ熱いうちに試験管をよく振盪し、温度が下がった後、上澄み液を半量ずつ TN 測定用、TP 測定用の 2 本の遠沈管に分注した。TN 測定用の遠沈管には 6N 塩酸を加え、pH を 2-3 に調整した後、分光光度計 (HITACHI U-5100) にて波長 220 nm での吸光度を測定して TN を求めた。TOM は同サンプルの波長 254 nm での吸光度を測定して求めた。TP 測定用の遠沈管には、直前に作成したカラーリエージェント液を 1.5 mL 加え振盪した後、20 分ほど暗所に静置し、青色を発色させ、波長 880 nm での吸光度を測定して TP を求めた。これらの作業は可能な限り暗所で行った。 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ の測定は、未オートクレーブの水サンプルとスタンダードを用い、TN、TP に準じて行った。DOM も同様に、オートクレーブをかけない水サンプルを用い、10 mm 石英セルを用いて波長 254 nm での吸光度を測定した。

地理情報システムによる土地利用解析

ため池周辺の土地利用と水質の傾向について分析するため、地理情報システム (GIS, Geographic Information Systems) の QGIS ver. 3.2.2 (<http://www.qgis.org>) を用いて、ため池周辺の土地利用の集計を行った。

まず、現地にて記録した調査ため池の位置情報、土地利用細分メッシュ (平成 26 年度版、解像度 100 m; 国土数値情報) を用いて、各ため池の中心より半径 100, 200, 300 m のバッファを発生させ、各バッファと重なるメッシュを切り出した。各バッファのメッシュについて、「Group Stats」プラグインを用いて各土地利用の面積を求め、土地利用ごとにその割合 (%) を集計した。なお、土地利用の区分は土地利用細分メッシュにおける、田・その他農用地を「農地」、森林を「森林」、建物用地・道路・鉄道・その他人工造成地を「市街地」として集計した。

捨てられやすさの点数化

調査したため池が人間にとってアカミミガメを捨てやすい池かどうか、現地において5段階評価で評価した。5段階の内訳は、①ため池周囲のフェンスの有無（フェンス有を0、フェンス無を1）、②護岸の有無（護岸無を0、護岸有を1）③道路からの距離、④草の繁茂の有無、⑤高低差の有無とし、それぞれを0（捨てにくい）または1（捨てやすい）で評価したものを足し合わせ、各ため池の点数とした（以下、スコアとする）。すなわち、スコアが高い池は人間にとってアカミミガメを捨てやすい池と考えられる。②の護岸の有無については、護岸率が約30%以下を護岸無とみなして0、護岸有（護岸率約30%以上）を1とした。③の道路からの距離については、池から直近の道路から約5m以内または池の直前まで車などで近づくことができた場合は1、その他を0とした。④の草の繁茂の有無については、池周辺の手入れがしておらず草が繁茂し、池に近づくことが困難だったため池を0、その他を1とした。⑤の高低差の有無については、採水時にバケツを用いたなど、水面から採水箇所までが約2m以上あったため池を0、その他を1とした。

統計解析

測定した水質データについて、ピアソンの相関係数を算出し、相関の有無を検定した。また、ため池周辺の土地利用と水質の特性を検証するため、前述の通り集計した土地利用の割合（%）と測定した水質データについてType II 回帰分析を行った。計解析及びグラフ作成には統計言語 R ver. 3.5.0 (R Core Team, 2018) 及び、R パッケージ “smatr”, と “ggplot2” を用いた。

アカミミガメの捨てやすさスコアと、実際の目視数との関係性を見るため、それぞれについて Type II 回帰分析を行った。また、点数化したスコアがどの要素によって決定されるのかを見るため、スコアを目的変数、水質や

表 1. 水質測定結果.

Table 1. Results of water quality measurements.

	mean ± 1 SD	range
Water temperature (°C)	19.7 ± 5.6	11.4 - 35.4
pH	7.1 ± 0.4	6.3 - 9.1
EC (mS/m)	10.2 ± 3.8	3.9 - 19.12
Chl. a (mg/L)	0.04 ± 0.1	-0.005 - 0.9
SS (mg/L)	35.0 ± 44.3	9.6 - 384.3
PO ₄ -P (µmol/L)	0.8 ± 0.9	0.03 - 5.4
NO ₃ -N (µmol/L)	38.9 ± 18.3	8.8 - 115.9
TP (µmol/L)	1.0 ± 1.0	0.07 - 5.5
TN (µmol/L)	29.5 ± 30.9	6.3 - 201.6
DOM (abs=254nm)	0.07 ± 0.04	0.02 - 0.2
TOM (abs=254nm)	0.006 ± 0.01	-0.005 - 0.07

目視数、環境 DNA 量を説明変数として、多重共線性が疑われる変数を除いた Type II 回帰分析を行った。本研究では 100 面中アカミミガメが観測されたため池が 30 面と不在データが多かったため、目視の有無を 0, 1 で示し、スコアとのロジスティック回帰分析を行い、関係性をみた。加えて調査池の緯度経度から空間配置と環境がどのようにアカミミガメの在不在を決めているのか Variation partitioning で解析した。以上の解析及びグラフ作成には統計言語 R ver. 3.5.0 (R Core Team, 2018) 及び、R パッケージ “smatr”, “car”, “varpart”, “ggplot2” を用いた。

結果

ため池の水質と土地利用との関係

ため池 100 面の水質測定結果を表 1 に示す。水質項目で特に値の高かったため池とその値は、pH が No. 65 の 9.1, Chl. a が No. 65 の 0.88 mg/L, SS が No. 65 の 384.29 mg/L, PO₄-P が No. 48 の 5.40 µmol/L, NO₃-N が No. 11 の 115.85 µmol/L, TP が No. 4 の 5.54 µmol/L, TN が No. 86 の 201.64 µmol/L, DOM が No. 18 の 0.20, TOM が No. 85 の 0.07 であった。

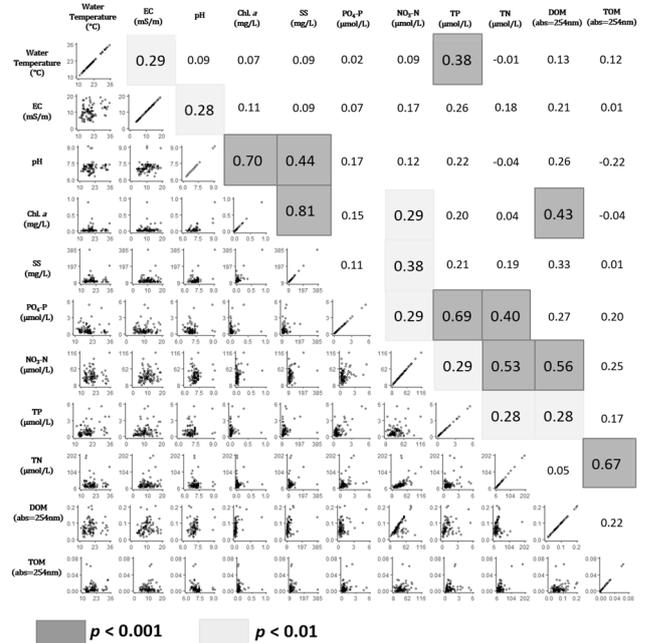


図 2. 各水質項目におけるピアソンの相関係数結果と各散布図。各数字は水質同士の相関係数、濃灰色は $p < 0.001$ 、薄灰色は $p < 0.01$ を表す。

Fig. 2. Pearson's correlation coefficients and scatter diagram of water quality. The number indicates correlation coefficients.

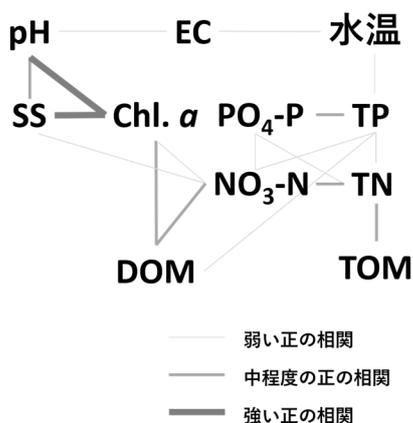


図 3. 各水質項目の相関係数の強弱. 相関係数が 0.2 以上 0.4 以下は弱い正の相関, 0.4 以上 0.7 以下は中程度の正の相関, 0.7 以上 1.0 以下は強い正の相関とした.

Fig. 3. The strength and weakness of each water quality

水質の測定項目同士の相関係数を求めた結果を図 2 に示す. 検定結果のうち, 特に強い正の相関を示したのは, Chl. *a* と SS ($r = 0.81, p < 0.001$), Chl. *a* と pH ($r = 0.70, p < 0.001$), PO₄-P と TP ($r = 0.69, p < 0.001$) であった (図 3).

ため池周辺の土地利用と水質の関係について, 有意な関係が得られたものを図 4 に示す. 半径 100m では水温と森林率 ($R^2 = 0.23, p < 0.001$), TP と森林率 ($R^2 = 0.06, p < 0.01$), EC と森林率 ($R^2 = 0.12, p < 0.001$) において両者に負の関係が (図 4-a), 水温と市街地率 ($R^2 = 0.42, p < 0.001$), EC と市街地率 ($R^2 = 0.09, p < 0.01$), TP と市街地率 ($R^2 = 0.16, p < 0.001$) において両者に正の関係が見られた (図 4-b). 半径 200 m では, 水温と森林率 ($R^2 = 0.37, p < 0.001$), EC と森林率 ($R^2 = 0.18, p < 0.001$), TP と森林率 ($R^2 = 0.08, p < 0.01$) において負の関係が (図 4-a), 水温と市街地率 ($R^2 = 0.50, p < 0.001$), EC と市街地率 ($R^2 = 0.13, p < 0.001$), TP と市街地率 ($R^2 = 0.20, p < 0.001$) において正の関係が見られた (図 4-b). また, 半径 300 m でのみ, DOM と森林率 ($R^2 = 0.09, p < 0.01$,

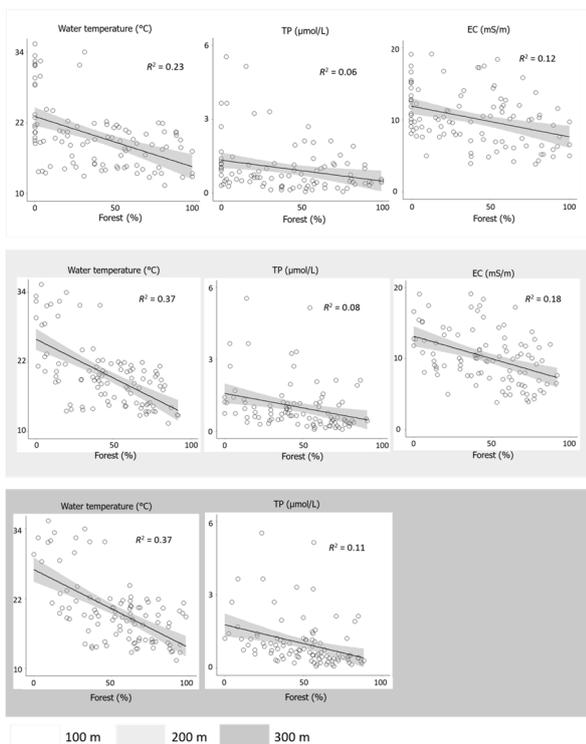


図 4-a. 各半径以内の森林率と水質の関係. グラフ内の灰色部分は 95%信頼区間を示す.

Fig. 4-a. The relationship between forest ratio within each radius and water quality. The gray part indicates $\pm 95\%$ confidence intervals.

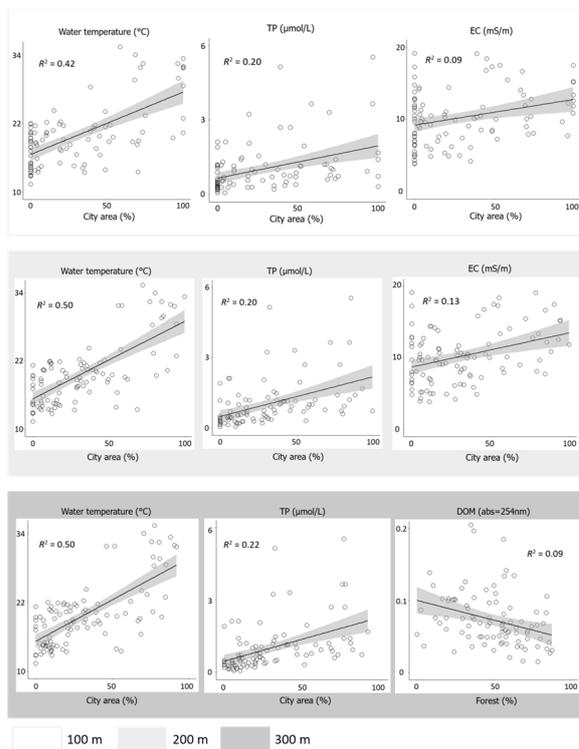


図 4-b. 各半径以内の市街地及び森林率と水質の関係. グラフ内の灰色部分は 95%信頼区間を示す.

Fig. 4-b. The relationship between forest and city area within each radius and water quality. The gray part indicates $\pm 95\%$ confidence intervals.

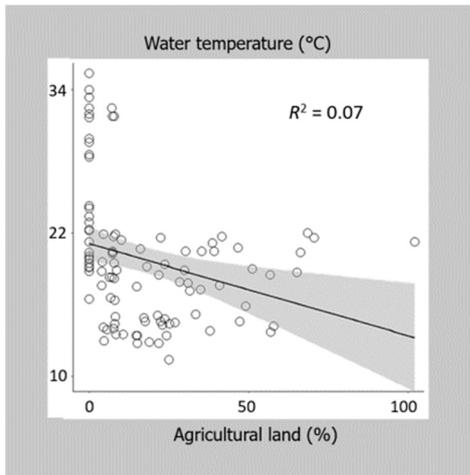


図 4-c. 半径 300m 以内の農地率と水温の関係。グラフ内の灰色部分は 95%信頼区間を示す。

Fig. 4-c. The relationship between agricultural land ratio within 300 m radius and water quality. The gray part indicates $\pm 95\%$ confidence intervals.

図 4-b), 水温と農地率 ($R^2 = 0.07, p < 0.01$, 図 4-c) で負の関係が見られ, 半径 100, 200m と同様に水温と森林率 ($R^2 = 0.37, p < 0.001$), TP と森林率 ($R^2 = 0.11, p < 0.001$) で負の関係が見られた(図 4-a). また水温と市街地率 ($R^2 = 0.50, p < 0.001$), TP と市街地率 ($R^2 = 0.22, p < 0.001$) で正の関係が見られた(図 4-b).

表 2. スコアと水質要因・目視数/ため池表面積の Type II 回帰分析結果.

Table 2. Results of Type II regression analysis for score, water quality and number of turtles/area of ponds.

	slope	SE	t value	p value	VIF
Water temperature	0.11	0.11	1.02	0.42	10.02
EC	-0.09	0.20	-0.44	0.70	12.15
pH	1.98	4.22	0.47	0.69	22.41
Chl. a	-50.83	40.03	-1.27	0.33	9.07
SS	-0.08	-0.04	-2.14	0.17	3.12
PO ₄ -P	0.65	0.94	0.69	0.56	11.25
NO ₃ -N	-0.09	0.23	-0.40	0.73	69.59
TP	-0.03	0.97	-0.03	0.98	14.02
TN	-0.05	0.10	-0.49	0.67	26.17
DOM	-16.18	34.10	-0.47	0.68	9.21
TOM	-129.60	139.50	-0.93	0.45	27.06
Visually-observed individuals (# / km ²)	-0.00	0.00	-0.81	0.50	16.53
Intercept	-3.25	32.15	-0.10	0.93	-

N	15
F value	2.94
p value	0.28
R ²	0.95
Adjusted R ²	0.63

アカミミガメの目視数, 捨てやすさを点数化したスコアを付表 1 に, スコアと水質要因・目視数/ため池表面積の Type II 回帰分析結果を表 2 に示す. 捨てやすさスコアと各水質(水温, EC, pH, Chl. a, PO₄-P, NO₃-N, TP, TN, DOM, TOM), 目視数/ため池表面積との VIF は, 水温 (10.02), EC (12.15), pH (22.41), Chl. a (9.07), SS (3.02), PO₄-P (11.25), NO₃-N (69.60), TP (14.02), TN (26.17), DOM (9.21), TOM (27.06), 目視数/表面積 (16.53) であった. 多重共線性が疑われる VIF > 5 の変数を取り除いて, SS を説明変数として Type II 回帰分析を行った結果, SS が増えるとスコアが減少する, つまり水中の濁りが少ないため池はアカミミガメを捨てやすいという結果が得られた(係数: -0.008, $p < 0.05$, 表 3). スコアに対しての各水質及びアカミミガメの目視数, スコアに対しての各水質及びアカミミガメの環境 DNA 量を Type II 回帰分析したが, 有意な関係はみられなかった[目視数; 係数: 0.02 (水温), -0.005 (SS), -0.04 (目視数), $p = 0.75$ (水温), 0.59 (SS), 0.38 (目視数)]. また, スコアと目視の有無を 0, 1 で表したものととの関係をロジスティック回帰分析したが, 有意な差はみられなかった(目視のみ; 係数: -0.03, $p = 0.86$, 環境 DNA のみ; 係数: 0.01, $p = 0.94$, 目視・環境 DNA; 係数: 0.002, $p = 0.99$).

空間配置と環境がどのようにアカミミガメの在不在を決めているのか Variation partitioning で解析した結果, 水温 (6.65%), EC (2.27%), pH (6.27%), Chl. a (13.38%), SS (11.82%), TP (7.20%), 目視数/表面積 (5.24%), 周囲の土地利用(道路) (-1.43%), 周囲の土地利用(市街地) (37.61%), DOM (-92.92%), ため池間の距離 (103.90%) であった. $\pm 100\%$ に近いほど説明力が高いため, DOM とため池間の距離が特に高い説明力を持つことが明らかになった. すなわち, DOM が増加し, ため池間の距離が大きくなるとアカミミガメが不在になる傾向がみられた(図 5-a, 5-b).

表 3. スコアと各水質の VIF > 5 の変数除外後の Type II 回帰分析結果.

Table 3. Results of Type II regression analysis for score and water quality without VIF > 5.

	slope	SE	t value	p value
SS	-0.008	0.003	-2.419	< 0.05
Intercept	3.697	0.178	20.773	0.000

N	100
F value	5.849
p value	0.017
R ²	0.056
Adjusted R ²	0.047

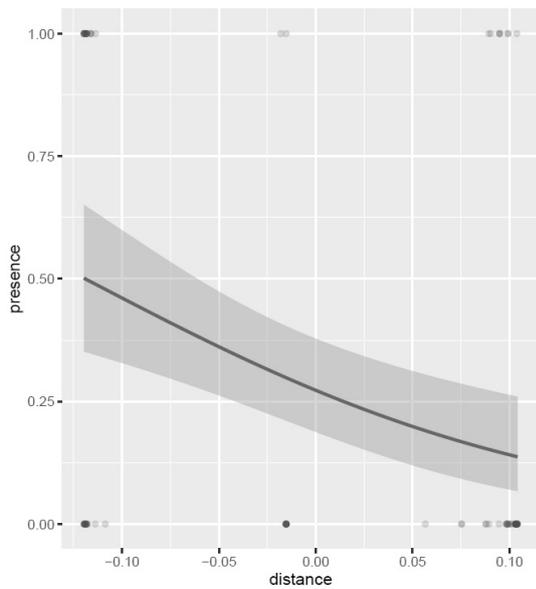


図 5-a. 池間の距離とアカミミガメの目視の有無 (0 は不在, 1 は在) との関係. 距離は数値が多くなるほど池間の距離が開くことを示す. 灰色部分は 95%信頼区間を示す.

Fig. 5-a. The relationship between presence of red-eared sliders and distance among ponds. The gray part indicates $\pm 95\%$ confidence intervals.

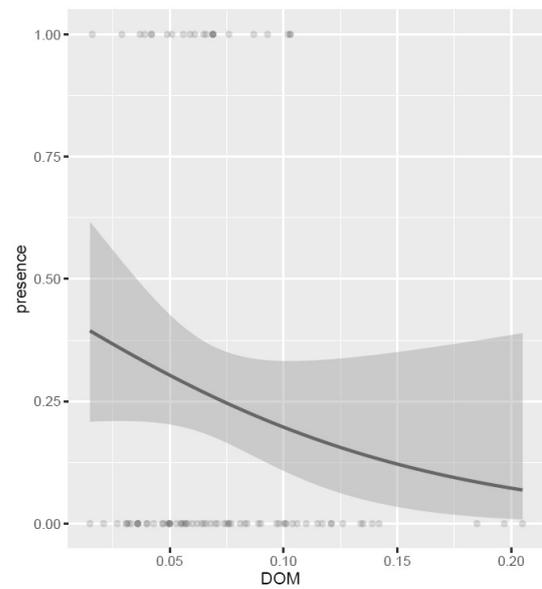


図 5-b. DOM (abs = 254 nm) とアカミミガメの目視の有無との関係. アカミミガメの有無は 0 が不在, 1 が在を示す. 灰色部分は 95%信頼区間を示す.

Fig. 5-b. The relationship between presence of red-eared sliders and DOM (abs = 254 nm). The gray part indicates $\pm 95\%$ confidence intervals.

考 察

水質同士の関係

本研究の調査期間が7月から11月におよぶことから、水温に関しては季節の影響が強く懸念される。実際に7月から8月に行った調査の水温が $31.03 \pm 3.07^\circ\text{C}$ 、10月から11月に行った調査の水温が $17.88 \pm 3.20^\circ\text{C}$ であったことから、夏季と秋季の水温は平均でも約 12°C も異なっていた。そこで本研究では、水温に関する考察はできないとした。

調査したため池の TP 平均濃度は $1.00 \mu\text{mol/L}$ であり、栄養段階区分では富栄養 ($0.97\sim 3.23 \mu\text{mol/L}$, Brönmark and Hansson, 2007) に分類される。ただし、半数強のため池の TP 濃度は中栄養段階 ($0.161\sim 0.323 \mu\text{mol/L}$, Brönmark and Hansson, 2007) 以下であったこと、秋季には池干しが始まった池もあったことから、全体的にみると管理されている比較的綺麗なため池が多いと考えられる。

水質項目間での相関を検討した結果、Chl. *a* と pH が強い正の相関を示したが、これは水中の植物プランクトンの光合成による二酸化炭素の消費によって、表層水の pH がアルカリ性に傾くためだと考えられる (Reynolds,

1984)。また、SS と Chl. *a* が強い正の相関を示したが、これは水中の SS に由来する有機物の大部分が植物プランクトンである可能性が考えられる。本研究で測定した SS は有機物、無機物を分けて測定していないが、SS の多くが無機物に由来した場合、水中への日射が遮断され、植物プランクトンの光合成が抑えられるため、負の相関が見られることがわかっている (相馬, 2018)。今回は逆に正の相関であったため、植物プランクトンが多くを占める可能性が高い。SS と pH の正の相関についても、植物プランクトンに起因する Chl. *a* と pH 間の強い相関に影響されているためだと考えられる。特に pH, Chl. *a*, SS が最も高かった No. 65 池は水色が真緑になるほどアオコが大量発生していたため (図 6)、植物プランクトンが優占して光合成が活発に行われ、pH が高くなったと考えられる。また、DOM と Chl. *a* 間に正の相関が見られたことは、DOM が植物プランクトン由来の有機物であることを強く示唆すると考えられる (Mangal et al., 2016)。

水質と土地利用との関係

半径 100 m, 200 m, 300 m 全てで森林率と水温との間に負の関係、市街地率と水温との間に正の関係が見られ、



図 6. No. 65 ため池の外観.

Fig. 6. Picture of No. 65 pond.

半径 300 m でのみ農地率と水温との間に負の関係が見られたが、先述したように水温については季節的影響が否定できない。

TP は、半径 100 m, 200 m, 300 m すべてにおいて森林率が高くなると減少し、市街地率が高くなると増加する傾向が見られた。リンは土壤に吸着することから、ため池の周辺が市街地として開発され土壤の割合が減ると TP が増加すると考えられる。加えて、市街地では土地面積の多くがアスファルト舗装されており、森林や農地よりもため池にリンが豊富な汚水がため池に流れこみやすくなっていることも要因の一つであろう。既往研究においても TP の発生源は道路や生活排水など人為的であることが多いと指摘されているように (Withers & Jarvie, 2008), 本研究において、周辺の森林率よりも市街地率で R^2 値が高いことは、ため池のリンは自然由来ではなく生活排水などの人間活動の影響が大きいことを示していると考えられる。

EC では、半径 100 m, 200 m において森林率、市街地率との関係性が見られた。EC はある一定範囲の地域のため池について、生活排水や農業排水などの影響の強さを示す指標の一つとして利用することも可能である (糟谷ら, 1989)。このため、森林率が高いため池では EC が減少する傾向が、排水の影響が大きいとされる市街地率の高いため池では EC が増加する傾向がみられたのだと考えられる。

DOM では、半径 300 m のみで森林率との関係性が見

られた。周囲の森林率が高くなると減少する傾向が見られたが、 R^2 値が低く、回帰式への当てはまりはそれほど良くはなかった。考えられる要因としては、周囲の森林率が高くなると、落ち葉や土壌などの有機物やそれらを分解する微生物量も多いため、水中の溶存有機物量が微生物の分解によって減少するためであることが挙げられる。

以上のことから、水質と土地利用との関係について、解析するバッファ半径を大きくするとその分 R^2 値も高くなり、回帰式への当てはまりが良くなるが、実際にはため池に直接関係のない土地利用まで関係があるように解析される可能性があるため、本研究でのため池は半径 200 m 以内の土地利用に多く影響を受けていると考えられる。したがって、周囲の環境に影響を受けているため池の水質に関して、半径 200 m 以内の土地利用を考慮する必要があると考えられる。

アカミミガメを捨てやすいため池について

スコアの特性から、本研究におけるアカミミガメを捨てやすい池とは“人間が近づきやすいため池”と言い換えることができる。スコアと SS に負の関係が見られたが、濁度の低い (澄んだ) ため池ほどより管理がされていると考えられ、そのような池には人間が近づきやすい可能性があるということが示唆された。しかしながら本研究ではスコアの内訳にため池の濁度は含まなかったため、近づきやすいと感じる池に偶然濁度が低い池が多かったのか、池の濁度が低いため池を近づきやすいと感じるのかどうかは、さらなる検証が必要であると考えられる。これに関して、Variation partitioning 解析では DOM が増加するとアカミミガメが観察されない傾向になった。DOM が少ない、水質条件の比較的良好な池にアカミミガメが生息している傾向がみられたことは、先述の濁度が低いため池でアカミミガメを捨てやすい傾向に関係しているかもしれない。

また、スコアとアカミミガメの目視数のロジスティック回帰分析では有意な関係は得られなかったため、人間がアカミミガメを捨てやすいと感じるため池と、実際にアカミミガメが生息しているため池の間には乖離があると考えられる。捨てにくいと判断したスコア (1 または 2) のため池で、アカミミガメが観察された池があった。そのようなため池のアカミミガメについては、人間が捨てやすいと感じるため池に捨てられた個体が、アカミミガメにとって生息しやすいため池へ移動している可能性はある。

実際に、Variation partitioning 解析ではため池間の距離が大きくなるとアカミミガメが観察されない傾向が見

られた。全体的にみると、アカミミガメが一部のため池に固まって分布していると考えられる。アカミミガメの分布に関して、岡山県ではアカミミガメが川から分布を拡大していることが明らかにされている(亀崎ら, 2017)。また、兵庫県神戸市・明石市の瀬戸川水系で行われた調査で、アカミミガメの1年間の移動距離は500m未満であることが明らかになっている(平成30年度 明石・神戸アカミミガメ対策事業報告書)。本研究でアカミミガメが観察されたため池は川から500m以上離れているため、ため池に生息しているアカミミガメは故意に捨てられた個体である可能性が高い。姫路市周辺でアカミミガメの野生化が初めて確認されたのが約40年前であること(浜島ら, 2001)、アカミミガメの平均寿命が35~40年であること(Ernst & Lovich, 2009)、一部のため池に集中的に分布していることを考慮すると、アカミミガメは一度捨てられたため池からあまり分布を拡大せず繁殖をしていると考えられる。そのため、人間が捨てやすいと感じたため池でアカミミガメが観察されなかった池は、今後、人間によって捨てられる可能性があることを示唆しているのかもしれない。これから捨てやすそうなため池や、分布が拡大しそうなため池には先手を打って対策をすることが重要と考えられる。

まとめと今後の展望

本研究で調査した姫路市のため池100面は、全体的にみると水質条件が比較的良好な池が多いと考えられる。また、アカミミガメはSS, DOMの少ないため池に遺棄されやすい可能性が示唆された。ただし、本研究では一度の調査の結果から考察しているため、さらなる調査が必要である。現状では、富栄養化したため池は水中の透明度の低下により外来生物調査などに支障をきたしていると考えられる。さらに、Kakuda et al. (2019)ではChl. *a*が増加すると環境DNA量が減少する傾向が見られたように、近年発展している環境DNA調査においても富栄養化は外来種の把握に支障をきたす可能性がある。そのような観点からも、ため池のような人間の管理下にある環境は積極的な管理、水質の改善が求められる。また、人間がアカミミガメを捨てやすいと感じたため池でもアカミミガメが観察されなかった池があり、アカミミガメ一部のため池に集中的に分布している可能性が示唆された。アカミミガメが分布を拡大する前に、分布を拡大しそうなため池や遺棄しやすそうなため池には先手を打って対策を行う必要があると考えられる。全国で行われているアカミミガメ防除プロジェクトでも人間が遺棄しやすいため池を把握することで、防除対策に生かすことができるだろう。

謝辞

調査を手伝って下さった相馬理央氏、東垣大祐氏、中村絢香氏に深く感謝致します。

引用文献

- 明石・神戸アカミミガメ対策協議会・株式会社自然回復(2019):平成30年度 明石・神戸アカミミガメ対策事業報告書.
- 有馬進・鈴木章弘・鄭紹輝・奥菌稔・西村巖(2008): ミシシippアカミミガメのハス食害調査. *Coastal Bioenvironment*, **14**, 47-54.
- Brönmark C. and L.A. Hansson (2007): *The Biology of Lakes and Ponds second edition*. 湖と池の生物学—生物の適応から群集理論・保全まで. 共立出版株式会社, 東京.
- Ernst C.H. and J.E. Lovich (2009): *Turtles of the United States and Canada, Second Edition*. Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- 浜島繁隆・土山ふみ・近藤繁生・益田芳樹(2001): ため池の自然—生き物たちと風景. 信山社サイテック, 東京.
- 今井葉子・野波寛・高村典子(2010): ため池に対する価値観が環境保全の態度と行動意図に与える影響—兵庫県東播磨地域における社会心理学的研究—. *農村計画学会誌*, **28**, 219-224.
- Kakuda A., H. Doi, R. Souma, M. Nagano, T. Minamoto and I. Katano (2019): Environmental DNA detection and quantification of invasive red-eared sliders, *Trachemys scripta elegans*, in ponds and the influence of water quality. *Peer J*, **7**, e8155.
- 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.
- 環境省, 日本の外来種対策 アカミミガメ (2019年7月29日更新)
<https://www.env.go.jp/nature/intro/2outline/attention/akami.html>
- Mangal V., N.L. Stock and C. Guéguen (2016): Molecular characterization of phytoplankton dissolved organic matter (DOM) and sulfur components using high resolution Orbitrap mass spectrometry. *Analytical and bioanalytical chemistry*, **408**, 1891-1900.
- 村川三郎・西名大作・深川健太・呉静如(2005): ため池に対する周辺住民の意識・評価の経年変化. *日本建築学会環境系論文集*, **598**, 51-58.
- Powell R., R. Conant and J.T. Collins (2016): Peterson Field

Guide to Reptiles and Amphibians of Eastern and Central North America, Fourth Edition. Houghton Mifflin Harcourt, Boston.

Reynolds C.S. (1984): The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press, Cambridge.

相馬理央・片野泉 (2017) : 姫路市近郊のため池 38 面の基礎的な水質. 陸水研究, 4, 27-33.

Urošević, A., Tomović, L., Ajtić, R., Simović, A., & Džukić, G (2016): Alterations in the reptilian fauna of Serbia: Introduction of exotic and anthropogenic range expansion of native species. Herpetozoa, 28, 115-132.

鷺谷いづみ・宮下直・西廣淳・角谷拓 (2010) : 保全生態学の技法 調査・研究・実践マニュアル. 東京大学出版会, 東京.

渡辺貴史・高村典子 (2006) : 兵庫県東播磨地域における生物保全に対するため池管理者の意識. 農村計画学会誌, 25, 353-358.

Withers P.J.A. and H.P. Jarvie (2008): Delivery and cycling of phosphorus in rivers: A review. Science of the Total Environment, 400, 379-395.

付表 1. 各調査地点の調査日, 緯度経度, スコア, 目視数

Pond No.	Date	Latitude	Longitude	Score	Turtles
1	2016/7/21	34°51'27"71	134°40'36"11	5	10
2	2016/7/29	34°51'15"84	134°41'12"84	4	2
3	2016/7/29	34°51'16"92	134°41'12"84	4	0
4	2016/8/4	34°51'02"88	134°41'00"96	5	0
5	2016/8/4	34°50'57"12	134°40'46"92	1	1
6	2016/8/8	34°51'36"36	134°40'57"57	4	2
7	2016/8/8	34°51'30"96	134°40'49"08	2	0
8	2016/8/10	34°51'02"88	134°40'32"16	5	0
9	2016/8/10	34°51'50"27	134°40'36"26	5	0
10	2016/8/16	34°51'38"88	134°40'39"39	2	10
11	2016/8/16	34°51'42"12	134°40'27"84	3	1
12	2016/8/19	34°50'24"24	134°41'42"42	5	0
13	2016/8/19	34°50'26"88	134°41'30"84	4	3
14	2016/8/26	34°51'52"92	134°40'35"04	4	1
15	2016/10/7	34°52'15"97	134°41'11"45	4	0
16	2016/10/7	34°52'21"91	134°41'10"54	3	1
17	2016/10/7	34°52'19"39	134°41'12"48	3	0
18	2016/10/7	34°52'24"05	134°41'10"23	1	0
19	2016/10/7	34°52'06"21	134°41'48"00	5	1
20	2016/10/7	34°52'02"02	134°41'48"27	5	0
21	2016/10/14	34°51'36"40	134°42'38"65	3	0
22	2016/10/14	34°51'52"94	134°42'04"27	1	0
23	2016/10/14	34°51'47"99	134°42'14"86	1	0
24	2016/10/14	34°51'44"67	134°42'14"22	3	0
25	2016/10/14	34°51'42"18	134°41'59"00	5	0
26	2016/10/14	34°51'44"11	134°41'52"91	5	0
27	2016/10/14	34°51'40"18	134°41'22"60	1	0
28	2016/10/14	34°51'38"16	134°41'17"16	1	1
29	2016/10/14	34°51'50"62	134°40'57"02	2	0
30	2016/10/14	34°51'48"96	134°40'56"23	2	3
31	2016/10/17	34°51'54"45	134°40'37"75	1	0
32	2016/10/17	34°51'57"51	134°40'28"63	2	0

Pond No.	Date	Latitude	Longitude	Score	Turtles
33	2016/10/17	34°51'52"84	134°40'48"37	5	0
34	2016/10/19	34°51'43"21	134°35'35"21	5	0
35	2016/10/19	34°51'43"34	134°35'26"03	5	1
36	2016/10/19	34°51'46"64	134°35'17"99	4	0
37	2016/10/19	34°51'41"91	134°35'46"99	5	0
38	2016/10/19	34°51'53"15	134°35'51"31	5	0
39	2016/10/19	34°52'06"27	134°35'47"93	5	0
40	2016/10/19	34°52'16"58	134°35'44"54	5	0
41	2016/10/19	34°51'31"47	134°35'53"56	5	4
42	2016/10/19	34°51'32"04	134°36'02"88	5	1
43	2016/10/19	34°51'28"49	134°36'06"63	5	5
44	2016/10/19	34°51'27"27	134°36'02"16	1	0
45	2016/10/19	34°51'29"60	134°35'20"10	5	0
46	2016/10/19	34°51'33"48	134°35'25"09	2	0
47	2016/10/19	34°51'40"47	134°35'24"34	1	0
48	2016/10/21	34°51'55"82	134°36'13"86	5	0
49	2016/10/21	34°52'00"86	134°36'09"34	5	0
50	2016/10/21	34°52'19"20	134°36'07"22	3	0
51	2016/10/21	34°52'18"12	134°36'11"16	3	3
52	2016/10/21	34°52'14"80	134°36'20"07	5	0
53	2016/10/21	34°52'36"15	134°36'52"11	5	0
54	2016/10/21	34°52'23"71	134°36'55"38	5	0
55	2016/10/21	34°52'08"35	134°37'21"82	2	0
56	2016/10/26	34°48'49"62	134°45'28"46	2	0
57	2016/10/26	34°48'45"99	134°45'20"11	2	0
58	2016/10/26	34°49'02"53	134°45'17"81	5	0
59	2016/10/26	34°49'17"61	134°45'17"76	3	0
60	2016/10/26	34°49'11"13	134°45'09"65	5	0
61	2016/10/26	34°49'09"75	134°45'04"08	5	0
62	2016/10/26	34°47'55"70	134°44'30"60	4	0
63	2016/10/26	34°47'51"66	134°44'32"38	3	0
64	2016/10/26	34°47'49"32	134°44'27"66	5	0
65	2016/10/26	34°47'44"73	134°44'28"25	1	0
66	2016/10/26	34°47'27"68	134°44'28"04	5	0
67	2016/10/26	34°47'26"17	134°44'30"00	1	0
68	2016/10/26	34°47'41"37	134°44'34"11	3	0
69	2016/10/26	34°47'44"19	134°44'39"70	3	0
70	2016/11/2	34°52'04"71	134°41'09"82	3	0
71	2016/11/2	34°52'08"04	134°40'33"96	2	40
72	2016/11/2	34°52'08"77	134°40'32"74	2	10
73	2016/11/2	34°52'17"98	134°40'33"59	4	1
74	2016/11/2	34°52'20"97	134°40'12"81	2	0
75	2016/11/10	34°52'44"93	134°36'26"46	1	0
76	2016/11/10	34°53'04"92	134°36'56"88	4	0
77	2016/11/10	34°53'06"74	134°37'01"27	3	0
78	2016/11/10	34°53'22"42	134°36'02"79	2	0
79	2016/11/10	34°53'22"97	134°35'58"44	3	0
80	2016/11/10	34°53'30"58	134°36'29"18	3	0
81	2016/11/10	34°53'33"12	134°36'30"51	3	0
82	2016/11/10	34°53'32"29	134°36'34"27	3	0
83	2016/11/10	34°54'00"96	134°36'15"60	3	0
84	2016/11/10	34°53'51"23	134°36'06"41	2	0
85	2016/11/16	34°53'58"77	134°36'39"56	5	0
86	2016/11/16	34°53'59"25	134°36'36"64	5	0
87	2016/11/16	34°54'09"90	134°36'33"84	3	0
88	2016/11/16	34°54'07"92	134°36'33"12	3	0
89	2016/11/16	34°54'13"64	134°36'05"48	4	0
90	2016/11/16	34°54'19"24	134°35'45"65	3	0
91	2016/11/16	34°54'17"99	134°35'40"68	3	0
92	2016/11/16	34°54'09"87	134°35'46"19	5	0
93	2016/11/16	34°54'06"24	134°35'39"84	1	0
94	2016/11/16	34°54'30"99	134°35'33"98	4	0
95	2016/11/16	34°54'30"37	134°35'41"57	4	0
96	2016/11/16	34°54'36"81	134°35'39"32	4	0
97	2016/11/16	34°54'30"37	134°35'47"51	3	0
98	2016/11/16	34°54'41"97	134°35'47"75	2	1
99	2016/11/16	34°54'56"00	134°36'00"70	5	0
100	2016/11/16	34°54'57"30	134°36'06"47	5	0