

Influence of light wavelength and intensity on geosmin production of *Streptomyces coelicolor* A3(2)

Motoo Utsumi¹, Ayako Kanazawa², Kazuya Shimizu¹ and Norio Sugiura¹

¹ Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba

² Graduate school of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba

Keywords: musty odor problem, lake sediment light condition, Actinomycetes, geosmin

ABSTRACT

The occurrence of musty odor concerns originated from microorganisms in freshwater environments has been reported in all over the world. Actinomycetes are known one of the causal microorganisms to produce musty odor substances in fresh water environments. Light is one of the most important factors for metabolic response of actinomycetes. Previous studies have reported that *Streptomyces coelicolor* A3(2) produced carotenoid when exposed at blue light, but didn't produce at red light. Both carotenoid and geosmin are terpenoids. Furthermore, isopentenylpyrophosphate is common precursor of geosmin and carotenoid. In this study, we conducted plate culture experiments under different LED light intensity (0, 1, 10, 20 and 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) of white, blue (470 nm), green (525 nm), and red (660 nm) light to elucidate the factors that influence on geosmin production. Geosmin production of *S. coelicolor* A3(2) gradually increased under blue and white light condition between 2.5 and 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ light intensity, but the production tended to decrease above 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. This result suggested geosmin production of *S. coelicolor* A3(2) increased when exposed short wavelengths light, but decreased at light intensity above specific level.

1. INTRODUCTION

In recent years, the occurrence of musty odor concerns originated from microorganisms in freshwater environments like as lakes (including Lake Kasumigaura), rivers, and reservoirs has been reported in all over the world^[1]. Actinomycetes are known one of the causal microorganisms to produce geosmin and 2-methylisoborneol (2-MIB), both are responsible for musty odor in fresh waters. Waterworks are strongly interested in when geosmin production occurs in the reservoir, because musty odor compounds can be perceived by human being at very low concentration level (ng/L)^[2], and it is ineffective to remove by conventional water supply treatment processes such as coagulation, sedimentation, filtration and chlorination^[3]. Establishment of effective removal methods is essential for reservoirs in situ, but it is still unclear what environmental factors control the production of these

compounds in aquatic environments.

Geosmin biosynthesis by *Streptomyces coelicolor* A3(2), a strain whose genome has been fully sequenced^[4], is studied^[5]. But the biosynthesis trigger of geosmin production is still unclear. Light is one of the important trigger factors for metabolic response of actinomycetes; as have reported that *S. coelicolor* A3(2) produced carotenoids when exposed under blue light (2.4 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), but didn't produce under red light (2.4 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)^[6,7]. Both of carotenoid and geosmin are terpenoids. Furthermore, isopentenylpyrophosphate (IPP) is common precursor of geosmin and carotenoid. Therefore, it is assumed that light influences on geosmin production by actinomycetes. Based on these backgrounds, we have studied what kind of environmental factors influence on geosmin production of actinomycetes. Here, we reported that the results of plate culture experiments under different light irradiation conditions (wavelengths and intensities) to elucidate the factors that influence on

geosmin production of *S. coelicolor* A3(2).

2. METHODS

S. coelicolor A3(2) was pre-cultured at 28°C for 2 days in 100 mL YMPD medium (2.0 g yeast extract, 2.2 g meat extract, 4.0 g Bacto peptone, 2.0 g NaCl, 1.0 g MgSO₄·7H₂O, 1.0 g glucose, pH 7.2, per liter) in a 300 mL baffled Erlenmeyer flask, and incubated with shaking at 120 rpm under dark condition. All medium pH were adjusted with NaOH solution before autoclaving. Cells from each 1 mL of cultured medium were harvested by centrifugation (5,000 × g, 5 min) and were washed twice with BS medium without carbon source (BS negative; 2.0 g (NH₄)₂SO₄, 2.0 g NaCl, 1.0 g MgSO₄·7H₂O, 0.5 g K₂HPO₄, 0.05 g FeSO₄·7H₂O, pH 8.0, per liter). After homogenized weakly by 1 mm glass beads with 1 mL of sterilized distilled water using Fast Prep system (Thermo Savent), cell suspension at a final concentration of 1×10⁵ CFU/mL were spread on SFM agar plate (20 g soybean flour, 20 g mannitol, 15 g agar, pH 8.0, per liter). All plates were cultured at 28°C for 7 days under specified light conditions or dark condition. Under light condition, we used white, blue (470 nm), green (525 nm), and red (660 nm) LED light equipment for illuminating at 1, 10, 20, 30 μmol m⁻² s⁻¹ onto the plates respectively. After 7 days cultivation, 5.0 mL of methanol was directly added to each plate for geosmin extraction, and then the plates were kept at room temperature for 30 min. 1.0 mL of methanol geosmin extracts was collected in glass tube and added 2.0 mL of n-hexane. After that, these tubes were stirred for 30 min and then centrifuged at 800 × g for 30 min to separate the n-hexane and methanol layer. The n-hexane layer was carefully collected and filtered through in a Pasteur pipette packed by Na₂SO₄ for dehydration^[8]. The extracts were analyzed by GC-MS QP2010 plus (Shimadzu Co Ltd. Japan) with AOC-20is series autosampler (Shimadzu Co Ltd. Japan) for measuring geosmin concentration.

3. RESULTS AND DISCUSSION

After 7 days cultivation, all plate surface of light or dark condition were filled with *S. coelicolor* A3(2) mycelia. On the other hand, geosmin concentration in the plate was increased under light (white, blue, green, red) conditions compared with dark condition. Furthermore, geosmin concentration was gradually increased under blue and white light condition between 10 and 20 μmol m⁻² s⁻¹ light intensity. But the concentration tended to decrease above 20 μmol m⁻² s⁻¹. These results strongly suggested that the lights played a key role in the

induction of geosmin production activity by *S. coelicolor* A3(2). Especially short wavelength light such as blue influenced potently to producing geosmin by *S. coelicolor* A3(2). Also the production responsency might have threshold level of light intensity.

From the previous studies, carotenoid production of *S. coelicolor* A3(2) is induced by irradiating of blue light (2.4 μmol m⁻² s⁻¹) but isn't induced when irradiated with red light (2.4 μmol m⁻² s⁻¹)^[6,7]. In this study, on the other hand, geosmin was produced by *S. coelicolor* A3(2) under green and red light irradiation conditions. Because metabolic pathway of carotenoid and geosmin has different parts, we suggested that carotenoid and geosmin production could be affected by different factors under long wavelengths light irradiation. In conclusion, it was indicated that various wavelengths light irradiation would induce geosmin production of *S. coelicolor* A3(2).

REFERENCES

- [1] Juttner, F. and Watson, S. B. Biochemical and ecological control of geosmin and 2-methylisoborneol in source waters, *Appl. Environ. Microbiol.*, Vol. 73, pp. 4395-4406, 2007..
- [2] Young, W., Horth, H., Crane, R., Ogden, T. and Arnott, M. Taste and odour threshold concentrations of potential potable water contaminants, *Water. Res.*, Vol. 30, pp. 331-340, 1996.
- [3] Bruce, D., Westerhoff, P. and Brawley-Chesworth, A. Removal of 2-methylisoborneol and geosmin in surface water treatment plants in Arizona, *Aqua*, Vol. 51, pp. 183-198, 2002.
- [4] Bentley, S. D., Chater, K. F., Cerdeno-Tarraga, A. M., Challis, G. L., Thomson, N. R., James, K. D., Harris, D. E., Quail, M. A., Kieser, H. and Hopwood, D. A. Complete genome sequence of the model actinomycete *Streptomyces coelicolor* A3 (2), *Nature*, Vol. 417, pp. 141-147, 2002.
- [5] Cane, D. E. and Watt, R. M. Expression and mechanistic analysis of a germacradienol synthase from *Streptomyces coelicolor* implicated in geosmin biosynthesis, *PNAS*, Vol. 100, pp. 1547-1551, 2003.
- [6] Takano, H., Obitsu, S., Beppu, T. and Ueda, K. Light-induced carotenogenesis in *Streptomyces coelicolor* A3 (2): identification of an extracytoplasmic function sigma factor that directs photodependent transcription of the carotenoid biosynthesis gene cluster, *J. Bacteriol.*, Vol. 187, pp. 1825-1832, 2005.
- [7] Takano, H., Asker, D., Beppu, T. and Ueda, K. Genetic control for light-induced carotenoid production in non-phototrophic bacteria, *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.*, Vol. 33, pp. 88-93, 2006.
- [8] Komatsu, M., Tsuda, M., Ōmura, S., Oikawa, H. and Ikeda, H. Identification and functional analysis of genes controlling biosynthesis of 2-methylisoborneol, *PNAS*, Vol. 105, pp. 7422-7427, 2008.

高度化した水循環機構下にある霞ヶ浦流入河川・桜川流域の水環境 — 多地点電気伝導率観測による水質実態の可視化 —

○吉川 慎平^{1,2}, 大塚 ちか子¹, 夏井 正明¹, 熊田 千春³, 神 明久¹, 鷺見 哲也⁴

¹自由学園最高学部(大学部), ²大同大学大学院工学研究科, 大正大学仏教学部³, 大同大学工学部⁴

キーワード: 栄養塩動態, 河川環境, 水循環機構, 多地点電気伝導率観測, 利根川水系桜川

抄録

桜川流域には下流の霞ヶ浦を水源とする用水路網が張り巡らされ、農地の灌漑に利用されている。一方、農地からの排水は流域の河川に流出し、再び水源である霞ヶ浦へと還流する。このような人工の水循環系の一端を担う河川の流水は、質・量の両面で農地(農業)の影響を強く受けていることが予想される。本研究では、測定が容易な電気伝導率を指標とし、流域内多地点で複数回観測することにより水質実態の可視化を試み、その上で湖水循環流域の水環境の現状と課題について考察することとした。

1. はじめに

1) 桜川流域の概要

利根川水系桜川は、茨城県西南地域の桜川市、筑西市、つくば市、土浦市の4市に跨る指定延長63.41km(流路延長約55km)、流域面積350.3km²の一級河川(県管理)である(図-2)。桜川市の鉾柄山(274m)に端を発し、筑波山地(主峰:筑波山877m)西方の平野部を南流、土浦市中心市街地付近で霞ヶ浦の西浦(以下、霞ヶ浦)へと注いでいる。霞ヶ浦流入河川の中では最大規模(延長・面積)の河川である¹⁾。

2) 高度化した水循環機構

今日、流域の平野部は一大農業地域を形成しているが、これは古くからの河川水、地下水の灌漑利用に加え、下流の霞ヶ浦を水源(ダム)とする「霞ヶ浦用水(1994年完成)」の管路網整備による、安定的な大規模灌漑機能に支えられている²⁾。一方で地域からの排水機能は、流域の河川が担っており、流出した水と物質は河川を介して霞ヶ浦へと還流する。その水質は良好とはいえないのが現状であり、霞ヶ浦の汚濁負荷要因の一つとされている³⁾。更に還流した水と物質の一部は再び霞ヶ浦から揚水されるという、複雑かつ高度な人工水文循環が、閉鎖的な水域内で繰り返されている点が最大の特徴である(図-3)。桜川に代表される霞ヶ浦圏域の河川流域は、流域下流に「ダム湖」を持つという全国的にみても特異な水循環機構を有していると言える³⁾。

3) 研究目的

以上の背景から、排水機能を担う桜川水系の河川水は、質・量の両面において、農地(農業)由来の影響を強く受けている事が予想される。しかし、流域の



図-2 桜川流域と主要水文観測所
地図データ出典: 国土数値情報, 主要水系調査, 他

図-1 桜川の景観
1) 筑波山と水田地帯
2) 中・下流部(田土部)
3) 河口(土浦市街)

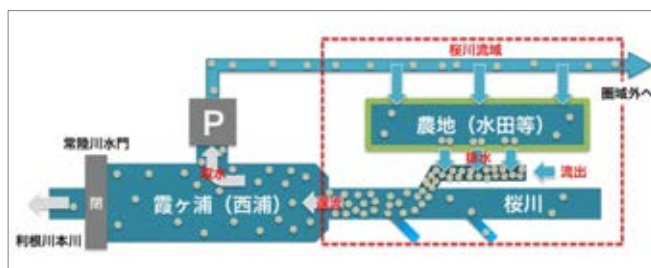


図-3 桜川流域を取り巻く人工水循環のイメージ

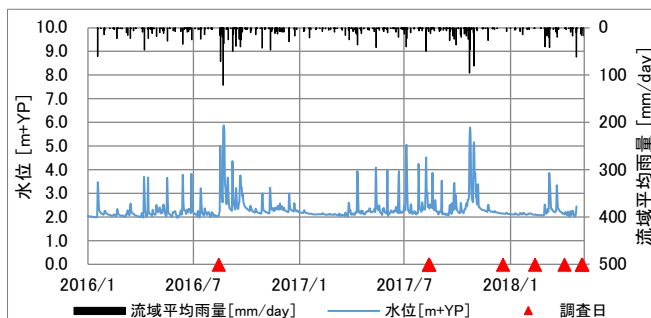


図-4 本川水位・流域平均雨量と各調査日の関係

水位: 藤沢新田, 雨量: 岩瀬・真壁・藤沢新田(データ出典: 水文水質DB)

水文・水質に関する広域的・定期的なデータが不足している点、本研究の先行研究⁴⁾で提起された、本川下流桜橋付近（地先レベル）での水質改善，という課題検討の点から、本川及び流域全体の水質実態について、現地調査によりその傾向を捉えることとした。

2. 調査方法

現地調査における水質項目として、河川水（地表水）の起源を評価したい点、測定が容易（多地点調査が可能）な点、日変動性が低い点から、電気伝導率（以下、EC）を主な指標とすることとした。なお、茨城県の公共用水域調査の水質項目に EC は無く、流域の EC のデータは特に不足している。

調査地点は、本川を軸に、流入する一次・二次支川と用排水路の上下流、その他の水域（溜池等）を対象に、現地状況を勘案して 110 地点設定した。調査項目は、全地点でポータブル pH/導電率計（東亜 DKK, WM-32EP）を用いて水温、EC、NaCl、pH、ORP（別途、気温）を測定、一部で透視度、パケットテストにより COD、NO₂-N、NH₄⁺-N、NO₃⁻-N、PO₄³⁻-P を測定した。代表地点ではイオン分析のためのサンプリングを実施し、コンパクトイオン分析計（HORIBA, LAQUA twin シリーズ）を用いて Ca²⁺、Na⁺、K⁺、NO₃⁻ を簡易測定した後、本分析のため 0.45μm のシリンジフィルターにより濾過しストックした。

現地調査は、2017/8/13~14（夏季・農繁期・12 時間通水期*）、12/18~19（冬季・農閑期）、2018/5/4~5（春季・農繁期・24 時間通水期*）の 3 回、それぞれ連続 2 日間に渡り実施した。また、本川に限定した調査を、2016/8/15、2018/2/10、4/4 の 3 回実施した（表-1）。図-4 に現地調査時期と本川水位（下流 8.8K・藤沢新田地点）、流域平均雨量（上流・岩瀬、中流・真壁、下流・藤沢新田 3 地点を平均）の関係を示す。

3. 結果と考察

1) 流域全体の EC の空間分布と傾向

本稿では EC の結果について扱う。調査地点の空間分布と EC の測定結果を図-5 に、EC の値の分布を図-6 に示す。全体の傾向として、西側の平野部の水域（本川を含む）と、東側の筑波山地山麓部及び本川源流部の水域で明確な差異が認められた。

全データを平野と山麓の 2 グループに分け（測定地点の周辺地形から判断）、それぞれ中央値をみると、平野部は、夏季 22.3mS/m、冬季 24.3mS/m、春季 21.4mS/m であるのに対し、山麓・源流部は、夏季

表-1 各調査回の位置付けと諸条件

調査回	2016年 8月 (7月)	2017年 8月	2017年12 月	2018年 2月	2018年 4月	2018年 5月	2018年 春~夏季 (9月)
対象	本川のみ ①	流域全体 ①	流域全体 ②	本川のみ ②	本川のみ ③	流域全体 ③	本川のみ ④
季節	夏季	夏季	冬季	冬季	春季	春季	春~夏季
状況	濁水	豊水	低水	低水	平水	豊水	高水?
藤沢新田 水位 ¹⁾	2.0m +YP	2.3m +YP	2.1m +YP	2.1m +YP	2.1m +YP	欠測	—
藤沢新田 EC ²⁾	29.6 mS/m	22.8 mS/m	23.9 mS/m	23.8 mS/m	23.1 mS/m	28.0 mS/m	—
霞ヶ浦湖心 水位 ³⁾	1.0m +YP	1.1m +YP	1.2m +YP	1.3m +YP	1.0m +YP	1.1m +YP	—
霞ヶ浦湖心 EC ⁴⁾	35.6 mS/m	34.3 mS/m	23.5 mS/m	23.0 mS/m	28.1 mS/m	21.8 mS/m	—
備考	・少雨、 濁水傾向	・小規模 出水時、 低減中			・農繁期前	・農繁期 (24時間 通水)	・大規模 出水時

藤沢新田水位、湖心水位・EC データ出典：水文水質 DB

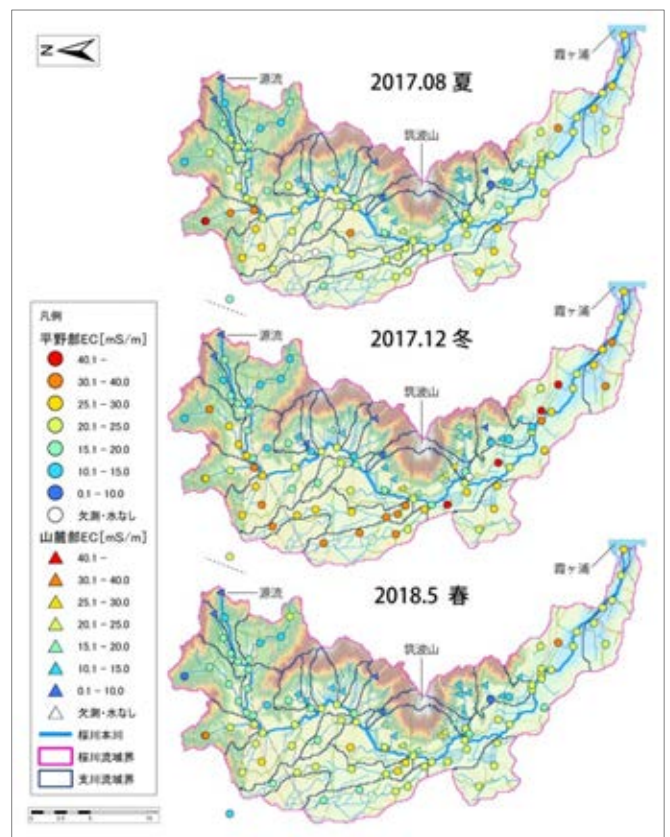


図-5 調査地点の空間分布と EC (O が平野、Δ が山麓地点)
地図データ出典：国土数値情報、主要水系調査、他

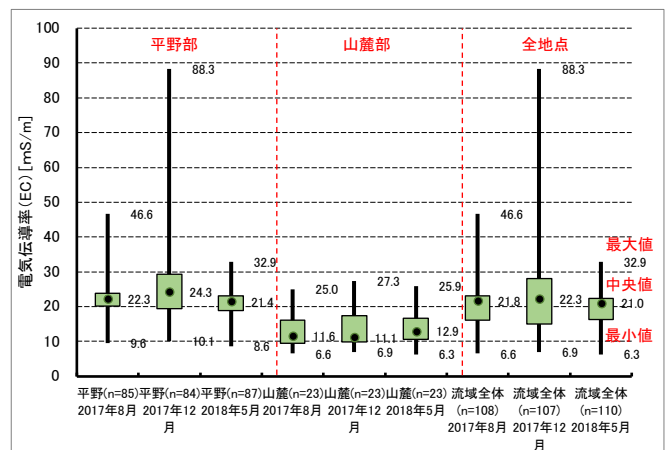


図-6 桜川流域の EC の値の分布

11.63mS/m, 冬季 11.14mS/m, 春季 12.9mS/m と、平野と山麓で 10mS/m 程の開きがあることが分かった。

山麓部は変動幅が平野に比べて小さく、安定的である。流水についても、豊富とは言えない（流域面積的に妥当）が、春・夏・冬季を通して見られた。これらの起源は、山地湧水が高い割合を占めていたと考えられる。

一方、平野部は変動幅が大きく、特に山付きでない本川右岸側の支川（観音川、大川流域等）の EC が相対的に高い傾向にある。流水については、春・夏季は見られたが、冬季は非常に少なく、またこの時の EC は春・夏季と比較して更に高いことから、流水・水質共に季節変動性が高いことも分かった。平野部の支川は、山麓部と異なり流水を安定的に供給する湧水等の水源が乏しい、或いはほとんど無い地域であり、春・夏季に見られた流水の起源は、農地等からの排水等が高い割合を占めていたと考えられる。

更に、全データ（3 回分）の最小値は 6.3 mS/m（春季）、最大値は 88.3 mS/m（冬季）と大きな開きがある。最小値は山麓部の源流の値であり、これは風化花崗岩地帯の山地湧水と位置付けられ、同じ花崗岩地帯での EC の測定結果⁵⁾に照らしても妥当な結果と言える。一方、最大値は平野部の水田地帯中の幹線排水路の値であり、土壌等から溶出した水が冬季で流水のほとんど無くなった水路内で濃縮したと推測される（当該地点は毎回高い傾向にある）。

2) 本川縦断における EC の変化

本川縦断における EC の変化を図-7 に示す。図中には、本川の左右岸から流入する一次支川・排水路等の最下流地点の EC をプロットした。本川の EC は、源流部の直下流から急上昇するが、45.0km より下流の区間に入ると河口付近までほぼ平行である。またその変動は、全体が上下にスライドする形になっている。中流部にみられる本川よりも低い値の流入水は、筑波山地山麓側（左岸）からのものであり、本川の EC に対して希釈効果をもたらしていると考えられる。

なお、同じ夏季（8 月中旬）であっても、2016 年と 2017 年で傾向が大きく異なっている。直前の降雨と当日の水位を参照すると諸条件が異なっており、2016 年は、調査直前の降雨が少なく、水位約 0.98m と渇水傾向。2017 年は調査直前にまとまった雨が降り、水位は約 1.35m と豊水傾向にあり、これらが水質に影響したと考えられる。2017 年は雨水流入によって、河川水全体の希釈が働き、2016 年より低い結果になったと推測される。

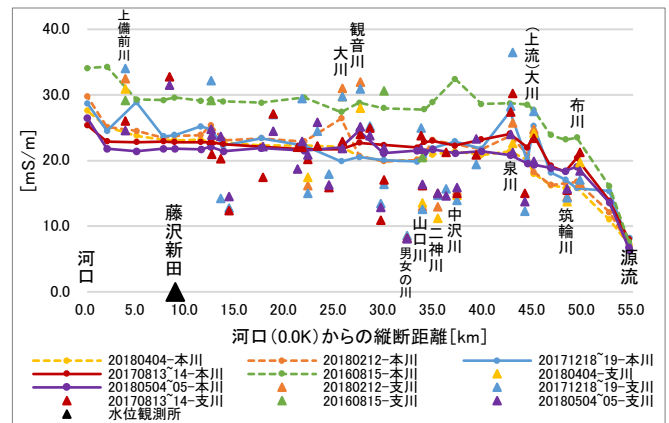


図-7 桜川本川縦断における EC の変化と流入支川の EC
* 縦断距離は茨城県資料¹⁾からの引用又は Google Earth を用いて測定。

4. まとめと今後の課題

現地調査から、桜川本川と流域全体の EC の傾向を捉えることができた。今後、EC と水文データ、時期（灌漑・非灌漑期^{*}）の 3 つから、桜川においてその時どのような起源の水が支配的であるかを推定し得る可能性が示唆された。

今後の課題として、①水質と地質、土地利用、用水配水エリアとの関係等、水質形成要因の検討、②多雨期、台風等による出水中等、異なる状況・流況時の調査から、水質の季節変動性の検討、③河川水サンプルのイオン分析結果の精査等が挙げられる。

* 灌漑期（通水期）：霞ヶ浦用水の水田通水の期間は 4/21～8/31。4/21～5/10 は 24 時間通水、5/11～8/31 は 12 時間（日中のみ）通水⁶⁾。

参考文献

- 1) 茨城県：利根川水系霞ヶ浦圏域河川整備計画，ワンダフル桜川，他。
- 2) (独) 水資源機構：霞ヶ浦用水ガイド-人と暮らしにやさしい水，2009。
- 3) 田淵俊雄：湖の水質保全を考える-霞ヶ浦からの発信-，技報堂出版，2005。
- 4) 熊田千春：自然と人のかかわり-利根川水系桜川について-，2016 年度自由学園最高学部卒業研究，2017。
- 5) 吉川慎平，鷲見哲也：電気伝導率からみた矢作川本川の水質実態と流域構造の特徴，土木学会中部支部研究発表会講演概要集，2018。
- 6) 霞ヶ浦用水土地改良区：霞ヶ浦用水事業の水田通水について，<http://www.kasumi-lid.or.jp/koho/index.html> (2018.5.9 参照)
- 7) 吉川慎平，大塚ちか子，夏井正明，神明久，熊田千春，鷲見哲也：霞ヶ浦流入河川・桜川流域における水循環機構の特徴と電気伝導率からみた水質実態，平成 29 年度土木学会関東支部技術研究発表会，2018。
- 8) 吉川慎平，大塚ちか子，夏井正明，神明久，熊田千春，鷲見哲也：高度化した水循環機構下にある霞ヶ浦流入河川・桜川流域の水質特性の可視化を目的とした多地点電気伝導度観測，第 52 回日本水環境学会年会講演集，2018。
- 9) 半谷高久，小倉紀雄：第 3 版 水質調査法，丸善，1995。
- 10) 平井幸弘：湖の環境学，古今書院，1995。
- 11) 河川環境管理財団編：河川の水質と生態系-新しい河川環境創出に向けて-，技報堂出版，2007。

霞ヶ浦湖底堆積物に見られる津波・洪水記録

井内 美郎¹¹早稲田大学人間科学学術院

キーワード:湖底堆積物, 津波, 洪水

抄録

霞ヶ浦湖心部において湖底表層堆積物を採取し、採取試料約 78 cm について 1 cm 間隔で粒度測定および全炭素・全窒素・全硫黄濃度を測定した。堆積物には 1707 年噴火の富士宝永テフラ(火山灰)と 1783 年噴火の浅間 A テフラが確認された。また、コア下部にはヤマトシジミ密集層があり、その年代は AD1270~AD1298 であった。湖底堆積物中には粒度の極大値が示すイベント層と全炭素濃度の極大値が示すイベント層がある。それらの年代をテフラ層の深度を基にした重量堆積速度で求めたところ、粒度の極大値は歴史的な津波イベントとの対応が、全炭素濃度の極大値は歴史的洪水イベントとの対応がみられた。津波堆積物は利根川筋を通じて太平洋側からもたらされたものであり、1960 年の常陸川水門竣工以降は観察されない。洪水堆積物は利根川および鬼怒川を通じてもたらされたと考えられ、上流域に位置する日光湯ノ湖の湖底堆積物にも見られる劇的洪水のいくつかの年代に対応する。

1. はじめに

2011 年に発生した東北地方太平洋沖地震およびそれに伴う津波による被害発生以降、津波発生メカニズムや発生頻度に関する関心が高まっている。今回は茨城県南部地方の災害史を明らかにする目的で、霞ヶ浦の湖底堆積物に残された災害記録を明らかにするための調査を行った。

霞ヶ浦は約 1 万年前に地球規模の海面上昇に伴って誕生し、その長い歴史の大部分を海湾の一部として経過してきた。風土記の時代には「流れ海」という名が示すように大量の海水が潮の干満に伴って湖内に流入していた。現在の霞ヶ浦は利根川の川筋を経由して太平洋と連絡しているが、江戸時代初期に利根川の流路が江戸湾から太平洋へと付け替えられる前には、主として鬼怒川の流路となっていた。霞ヶ浦は、このような地理的な位置にあることから、歴史的な事件としての津波や劇的な洪水の影響を受けてきた。今回はこのような自然災害の記録が霞ヶ浦の湖底堆積物に残っているのではないかと考え、湖底堆積物の調査を行った。

2. 方法

今回、試料を採取した地点は霞ヶ浦の湖心、北緯 36° 01' 20"、東経 140° 24' 40"、水深約 6m の水域である。柱状試料の採取には、産総研の吉川氏製作の「押し込み式柱状採泥器」を用いた。採取長約 78cm の柱状試料を 0.5cm 間隔に切り分け、粒度分析と有機元素分析用とした。

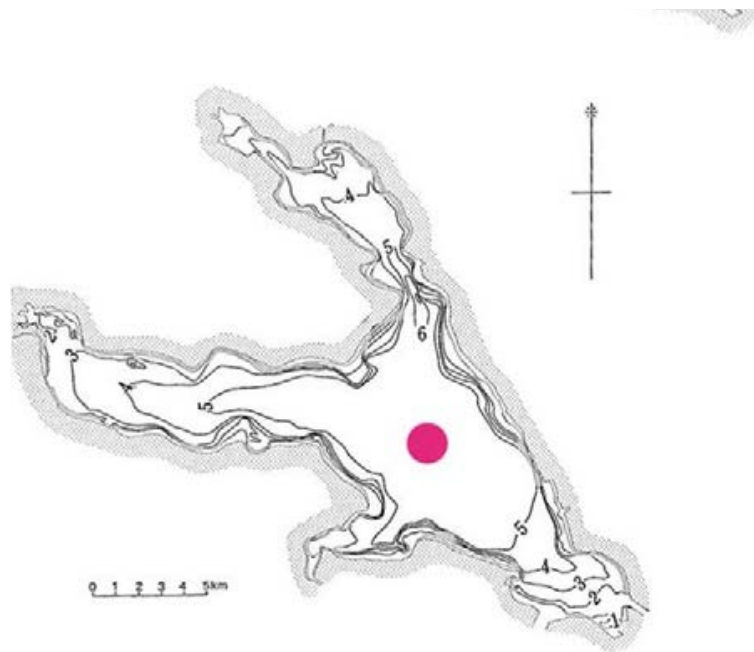


図1 調査地点

0.5cm 間隔に切り分けた計 156 個の湿試料について、レーザー回折散乱法により粒度分析を行った。試料は、10%の過酸化水素水を用いて有機物分解処理を行い、測定前には分散剤として、10%のヘキサメタリン酸ナトリウムを加え、超音波で 5 分間攪拌した。測定には Cilas 社製の Cilas 1064 を使用し、中央粒径値を求めた。同様の分析を同一地点で採取した柱状試料について 1 cm 間隔で粒度測定を行った。測定

には Malvern Panalytical 社製の Mastersizer2000 を用いた。2 試料の粒度測定の結果は 1 cm 毎に表現し、深度ごとの平均値を用いることとした。粒度測定後の試料について、試験篩を用いて泥サイズの粒子を洗い流し、砂粒子観察用試料とした。砂粒子をシャーレに広げ、双眼実体顕微鏡を用いて構成粒子を観察し、火山灰の層準を特定した。

1cm 間隔で採取した計 78 個の乾燥試料について、ガスクロマトグラフ法により全有機炭素 (TOC)、全窒素 (TN)、全硫黄 (TS) 濃度の分析を行った。試料は粉碎し、約 10mg を銀製カプセル中に秤量した。1 規定の塩酸処理を用いて無機炭素を除去したのち、銀製カプセルを錫製カプセルに入れ、キューブ状に成形した。測定には Thermo Fisher Scientific 社製の FLASH 2000 を使用し、検出されたピークの面積から各元素の濃度を求めた。

3. 結果

柱状試料の肉眼観察および砂粒子の観察結果から深度 42.5 cm および 48.5 cm に浅間 A テフラ (1783 年噴出) および富士宝永テフラ (1707 年噴出) の密集層が確認された。柱状試料の最下部付近の深度 67 cm・71 cm・73 cm にはヤマトシジミの貝殻が複数観察され、炭素 14 を用いた年代測定の結果、AD1270~AD1298 の年代値が得られた。

3.1 中央粒径

平均粒径は 3~6 μm であり、テフラ層準はそれをはるかに上回る値であった。深度一粒度グラフにおいて、10 個以上の極大値を示した。

3.2 全硫黄濃度(TS)

全硫黄濃度は柱状試料最下部から富士宝永テフラの層準に向かって低下する。富士宝永テフラの前後で一時的に濃度が上昇したのち、浅間 A テフラ以浅で一旦わずかに上昇したのち濃度が低下して表層に至っている。

3.3 全有機炭素濃度(TOC)

全有機炭素の濃度は、下部から浅間 A テフラのやや上位までほぼ一定の値で推移するが、浅間 A テフラの層準よりやや上位で急増したのち、小さな極大値をいくつか伴いながらほぼ一定の値で推移した。

3.4 全窒素濃度(TN)

全窒素濃度は全有機炭素濃度のほぼ 10 分の 1 の値を示すが、全有機炭素濃度の変化にほぼ似た変化を

示した。

4. 考察

全硫黄濃度の変化に示されるように、今回採取した試料は、ヤマトシジミが棲める汽水環境から霞ヶ浦が現在のよう淡水湖の環境へと変化した過程を示していると考えられる。堆積物の粒度プロファイルや全炭素濃度プロファイルに見られる極大値が示す意味を明らかにする目的で、それぞれのイベントのおよその年代を求めた。採取した試料の深度を年代に変換するために、表層—浅間 A テフラ間の堆積物の単位面積当たりの乾燥重量をもとに重量堆積速度を求め、内挿法で深度を年代に変換した。同様に、浅間 A テフラ—富士宝永テフラ間の重量堆積速度を求め、深度を年代に変換した。その結果、中央粒径プロファイルでみられた極大値の堆積年代の多くは歴史的な津波イベントの時期に対応する可能性が高いことが示された。一方、全炭素濃度プロファイルでみられた極大値の多くは日光湯ノ湖の湖底堆積物で推定された 50 年に一度程度の「劇的洪水」の年代と一致する可能性が高いことが示された。湯ノ湖は利根川と鬼怒川双方の水源地の一つである金精峠の東側にあり、利根川や鬼怒川の下流域で大洪水が発生した時に対応するイベント堆積物が識別されている。

霞ヶ浦のように、海岸から 40 km 以上離れた湖沼で津波のイベントを示す堆積物が報告された例はない。このことについて検討する。近年の津波災害で「河川津波」という言葉に注目が集まり始めている (2018 年 3 月 NHK 番組)。これは、河川を通じて遡上した津波が平地における津波の侵入に先行して到達するため、住民の避難を妨げる可能性を指摘したものである。霞ヶ浦で考えられるイベントが津波の痕跡であるとするれば、霞ヶ浦は河川津波を記録している珍しい例と考えられる。河川を遡上した津波が狭い流路から広い霞ヶ浦に広がった場合にそのような痕跡を残しうるものかどうか、さらなる検討が必要であるが、それが実際のものであったとするならば、かなり大きな津波であったことになる。

5. まとめ

霞ヶ浦の湖心域において採取長約 78 cm の柱状試料を採取し、粒度分析および全有機炭素濃度などの元素濃度測定を行った。噴火年代既知の広域テフラ (火山灰などの火山噴出物) の深度と堆積物の単位面積当たりの積算乾燥重量を基に、イベント層準の堆積年代を推定した。その結果、歴史的な津波記録に対応する可能性の高い津波イベント及び歴史的劇的洪水に対応する可能性の高い洪水イベントを識別した。

霞ヶ浦研究会の歩みと役割：霞ヶ浦に関わる情報交流の場の展望

山根幸美¹ (Yukimi Yamane)

¹ 霞ヶ浦研究会 (Kasumigaura Academic Circle)

キーワード：霞ヶ浦、環境情報、保全と改善、情報交換、啓発活動

抄録

霞ヶ浦研究会は、霞ヶ浦を考える研究者や市民の団体として1991年12月に設立され、霞ヶ浦の保全と改善に関する研究、情報交換、啓発活動を続けて来た。1991年は、アオコ発生が大きな社会問題となり市民、行政、研究者が富栄養化に取り組んでいた。霞ヶ浦研究会の活動は1995年に霞ヶ浦で開かれた第6回世界湖沼会議の開催を支え、その後の様々な環境問題についても取り上げて来た。活動を反映し、生物多様性や生態系関係の内容を含む冊子や会報の出版も続けている。

2005年、茨城県霞ヶ浦環境科学センターが開設され、「調査研究・技術開発」、「環境学習」、「市民活動との連携・支援」、「情報・交流」を進めている。講座や観察会が開かれ、市民が熱心に参加している。霞ヶ浦研究会の手がけて来たことは、センターに引き継がれているとも言える。一方、自由に情報交換し、科学的に論議する場、生物生態系情報の共有の場として霞ヶ浦研究会の存在の意味は無くならない。

1. はじめに

霞ヶ浦研究会は、霞ヶ浦を考える研究者や市民の団体として1991年12月に設立され、霞ヶ浦の保全と改善に関する研究、情報交換、啓発活動を続けて来た。当初の精力的な活動は、1995年に霞ヶ浦で開かれた第6回世界湖沼会議を支えもした。その歩みを振り返り、果たした役割とこれからを考え、合わせて霞ヶ浦に関わる情報交流の場の展望を考察する。

筆者は、1978年土浦の自然を守る会に入会し、霞ヶ浦を良くする市民活動に関わるようになった。世界湖沼会議'95に向けて発足した世界湖沼会議市民の会や霞ヶ浦研究会にも入会し、シンポジウムなどに参加した。やがて霞ヶ浦研究会運営委員となり、霞ヶ浦研究会報7号(2004)より編集を担当し、18号(2016)まで発行した。霞ヶ浦研究会報その他の出版物から、会の活動を振り返る。

2. 霞ヶ浦研究会の発足

霞ヶ浦研究会設立趣意書(1991.7)は、「霞ヶ浦総合開発工事の終了を迎え、霞ヶ浦研究に関する情報交換と調査研究の場としての霞ヶ浦研究会への参加」を研究者に呼びかけている。1993年会員数は77人、多くが研究者である。

12月7日(土)の設立総会では、霞ヶ浦にどう取り組むのかのパネルディスカッションが持たれた。13人のパネリストから持続可能な発展、住民・研究者・行政の結集、発生源

対策、生き物を守る、水門、地域性、条例と法に基づく県の基本・保全・水源地整備3計画、建設省霞ヶ浦工事事務所の建設事業と水質浄化事業、水質目標値、農業負荷、アオコ現存量と流域の汚濁物質、環境デザイン、行政とマスコミ、情報と意識共有の必要性について報告・提起された。続く総会で規約と事業計画が決まり、会の発足となった。

会の目的と性格は、規約に以下のように定められた。

- ・第2条(目的) 本会は、霞ヶ浦を中心とした環境資源の保全・改善並びに持続的発展に関する研究・調査、情報の交換・収集及び広報・啓発活動等を目的とする。
- ・第3条(性格) 本会は、上記目的に賛同する国・公立研究機関、大学、自治体、企業及び住民団体の個人及び団体が広く横断的に参加できる開かれた研究会とする。

3. 当初の活動

発足から1年4ヶ月(1991・1992年度)の活動は、まことに精力的であった。

- ・例会8回：3名程度の話題提供方式で進められた。各回のテーマは、霞ヶ浦に対する社会的要求と将来設計、ヨシ・土地利用・環境保全のための社会システム、霞ヶ浦の生き物たち、霞ヶ浦の環境容量と新管理手法、水田の水質浄化機能・流域の自浄作用、霞ヶ浦水産業の現状と将来、霞ヶ浦と流域に関連した県の試験研究、霞ヶ浦の歴史と環境変遷と、多岐にわたっていた。

・第1回シンポジウム:霞ヶ浦再発見一人と生き物の共生をめざして一 9月19日に土浦市民会館で開催され、200人の参加者があり、景観、谷津田、豊かな生き物(ワンド構築提案)についての講演に聞き入った。この記録は、冊子にまとめられた(1993.3.25)。

・ワークショップ(1):景観「湖岸景観」について15人の参加。湖岸自然環境調査、景観調査、住民意識調査(霞ヶ浦工事事務所からの委託研究)など。見た目アオコ指標シートを作成した。

・ワークショップ(2):新川「下水処理水を利用した新川の親水公園化」10課題(河川環境管理財団助成)

・行政担当者との意見交換会:霞ヶ浦工事事務所、茨城県環境局霞ヶ浦対策課の事業説明と意見交換(2月)

この間のニュース発行22号ということからも、会員相互の情報交流の熱意が伝わる。

4. 世界湖沼会議'95の翌年1996年まで

1993年度からは、ワークショップの展開を特徴としつつ、例会3回、シンポジウム、行政担当者との意見交換会を毎年開き、年報他の出版を重ねている。これらへの市民参加も多く、湖沼会議'95に結びつくものであった。地元紙常陽新聞に「貢献度が大きい」と紹介されている(1995.10.21)。世界湖沼会議'95への参加者は8,200人。市民、行政、企業が多く参加し、それまでに無い盛り上がりを見せた。

この間の活動の概略は以下の通りである。

<1993年度>例会3回:シアノバクテリアの増殖・遺伝・カビ臭(6月)、植物を使った水の浄化と霞ヶ浦(10月)、湖沼をめぐる有害物質の諸問題(1月)。第2回シンポジウム:限りある霞ヶ浦-開発と自然の接点を探る-川ガキ、ワカサギ、田んぼ、水道、逆水門、環境教育の立場から(9月、土浦水郷文化体育館、参加80人)。ワークショップ:景観(湖岸景観・植生浄化など)、新川(下水処理水を利用した親水公園化研究)。行政担当者との意見交換会:新川について(2月)。出版:1991~1992年度年報、霞ヶ浦関連文献目録、第2回シンポジウム記録「限りある霞ヶ浦」。

<1994年度>例会3回:ハス田と霞ヶ浦(6月)、漁業と霞ヶ浦(10月)、霞ヶ浦流域の畜産(12月)。第3回シンポジウム:霞ヶ浦を語る9報告(1月、土浦国民宿舎「水郷」、参加70人)。ワークショップ:土浦港浄化実験(水耕生物濾過法による植生浄化実験)。行政担当者との意見交換会:農業・

畜産・水産系生産活動によるCOD、窒素及びリンの発生負荷削減対策について(3月)。出版:1993年度年報、「わたしたちの霞ヶ浦-ひとと湖のかかわり」STEP, 1994(25人の分担執筆、167頁)。

<1995年度>例会2回:資源リサイクル型地域エコシステム(7月)、霞ヶ浦は今(9月)。ワークショップ:土浦バイオパーク、11月バイオパーク友の会設立により活動を移行。シンポジウム:世界湖沼会議市民の会と共催、世界湖沼会議'95を終えて(12月、土浦国民宿舎「水郷」参加100人)。行政担当者との意見交換会:霞ヶ浦の新たな水位管理について(3月)。総会シンポジウム:ジャーナリストから見た世界湖沼会議とその周辺(3月)。出版:1994年度年報。

<1996年度>ワークショップ:地域エコシステム(地理情報システムを使った市町村レベルでの環境管理-阿見町の例)。フィールド観察「建設省の土浦入りにおける湖岸施設を視る・霞ヶ浦名産を味わう」(10月)。シンポジウム:霞ヶ浦環境センター(仮称)構想を考える(11月、土浦国民宿舎「水郷」、参加50人)。第2回研究発表会:発表者11人(2月、土浦国民宿舎「水郷」、参加70人)。土浦バイオパークの存続決定。

5. 霞ヶ浦環境科学センター開設2005年まで

ほぼ1年経った1998年度から、湖沼会議'95で県知事が表明した霞ヶ浦環境科学センターの開設2005年までの活動について述べる。

年2~4回の例会・観察会を実施。ワークショップは1998年より環境教育について行い、2000~2003年には環境教育講座を実施しテキストを検討した。研究発表会は、3月の総会時に特別講演を含めて行う形が定まった。2003年3月には特別講演「霞ヶ浦環境科学センターを考える」を実施している。

2002年10月、シンポジウム「霞ヶ浦の自然再生を考える-湖岸帯の植生と修復-」を土浦市で実施した。2000~2001年度に緊急対策費34億円で霞ヶ浦湖岸11カ所で実施された湖岸植生帯復元アサザ再生事業について7人が討論した。190人の参加者があり、関心の高さを伺わせた。発案者からは市民型公共事業とされたが、十分な説明責任を担いきれない未熟さを見せたというまとめを、このとき司会をした筆者は霞ヶ浦研究会報7号に寄せた^[1]。

会報7号は、このシンポジウム記録と前6号に続く1999~

2002年の活動記録として発行した(2004.2)。会報8号は、「霞ヶ浦の白濁現象」を特集し、2003・2004年活動記録を収めた(2005.3)。この号には、2002年12月から2004年3月までに開かれた霞ヶ浦意見交換会(霞ヶ浦工事事務所主催)における会員意見の記録も収録している。以降、特集・研究報告・研究発表要旨・意見論考・例会報告要旨・ワークショップ・活動報告の会報内容が定まった。

2005年3月総会の特別講演は「コイヘルペスウイルスについて」内水面試験場長からの講演だった。2005年5月に霞ヶ浦環境科学センターが開設された。

この間の例会テーマを年次別にあげる。

<1998年度>霞ヶ浦の植物プランクトンとヨシ帯はどのように変わったか(7月)・霞ヶ浦の動物たちは今(10月)・流域から見た霞ヶ浦(11月)・漁業再生への道を探る(2月)

<1999年度>硝酸態窒素の汚染と面源(6月)・アオコの毒素について(9月)・霞ヶ浦の溶存有機物(2月)

<2000年度>湖の底質(6月)・霞ヶ浦の流域管理(12月)

<2001年度>霞ヶ浦湖岸の植生の現状と修復(6月)・湖岸の物質循環の構造と機能(9月)・霞ヶ浦湖岸帯の修復手法と課題(1月)

<2002年度>霞ヶ浦湖岸の野鳥を守る(5月)・霞ヶ浦湖岸工事の現地見学会(7月)・北浦沿岸帯の動物群集(7月)

<2003年度>農業から見た霞ヶ浦(6月)・地理学から見た霞ヶ浦(7月)・漁業から見た霞ヶ浦(10月)

<2004年度>霞ヶ浦の濁度上昇(8月)・地域農業と環境保全(11月)・砂浜と底質-生物と機能(12月)

<2005年度>産業と多面的機能(7月)・湖沼法改正(10月)・冬期湛水水田(12月)

6. 2006年度から2016年度まで

総会時の特別講演と研究発表、年2~5回の例会を実施し、その内容を翌年度の会報にまとめることを続けた。2006年会報9号では、筆者は「順応的管理」について論述した^[2]。自然再生推進法施行(2003.1)以降耳にし出したが、事前の環境影響評価をせず事業先行となる課題を記した。2011年3月の東日本大震災後は、例会で現状報告を受け、2014年会報14号に特集した。放射能汚染についての特集を15、16、17号と継続した。以下に8号以下の特集テーマを記す。

8号2005:霞ヶ浦の白濁現象(2005.3.27発行)

9号2006:霞ヶ浦の湖岸帯(2006.3.22)

10号2007:霞ヶ浦の構造と機能(2007.3.23)

11号2008:霞ヶ浦再生に向けた新たなアプローチ(2008.9.28)

12号2009:霞ヶ浦と人間活動(自然再生、開発影響)(2009.9.26)

13号2010:霞ヶ浦と人間活動(漁業、水産の現場から)(2010.12.25)

14号2011:東日本大震災と霞ヶ浦(2011.12.25)

15号2012:東日本大震災後の環境と霞ヶ浦(2013.5.31)

16号2013:東日本大震災後の霞ヶ浦・逆水門論考(2014.7.31)

17号2014:東日本大震災後の霞ヶ浦と流域(2015.8.31)

18号2015・2016:霞ヶ浦の水質(2016.9.30)

7. 振り返りと今後の展望

霞ヶ浦研究会が設立された1991年は、霞ヶ浦でのアオコ大発生コイの大量斃死(1973)以降、アオコ発生が大きな社会問題となり市民、行政、研究者が富栄養化に取り組んでいた。霞ヶ浦研究会を含む多くの活動が1995年の第6回世界湖沼会議の開催を支えた。その後の様々な環境問題についても、霞ヶ浦研究会は例会等で取り上げて来た。その多くは、会員研究者たちの手弁当で持たれた。

2005年、茨城県霞ヶ浦環境科学センターが開設され、「調査研究・技術開発」「環境学習」「市民活動との連携・支援」「情報・交流」の4機能を、市民、研究者、企業及び行政の4者のパートナーシップのもと、効果的に発揮できる運営を目指すとしている。講座や観察会が開かれ、市民が熱心に参加している。霞ヶ浦研究会の手がけて来たことは、センターに引き継がれているとも言える。これに自然環境部門の調査研究・技術開発機能が加われば万全である。

一方、自由に情報交換し、科学的に討議する場、生物生態系情報の共有の場として霞ヶ浦研究会の存在の意味は無くならない。流域では、太陽光発電事業による平地林減少問題もある。組織の高齢化は厳しい現実だが、今後の在り方を探りたいと筆者は考えている。

引用文献

[1] 山根幸美: 市民社会の成熟度を考える, 霞ヶ浦研究会報, 7号, pp. 38-39, 2004.

[2] 山根幸美: 順応的管理についての一考察, 霞ヶ浦研究会報, 9号, pp. 97-98, 2006.

利根川水系桜川の水質改善に向けた水環境の現状と課題

○熊田 千春^{1,2*}, 吉川 慎平^{1,3}, 大塚 ちか子¹, 夏井 正明¹, 神 明久¹

¹ 自由学園最高学部(大学部), ^{2*} 現 大正大学仏教学部, ³ 大同大学大学院工学研究科

キーワード: 水質汚濁, 河川環境, 現地調査, 水循環機構, 利根川水系桜川

抄録

関東平野の湖沼である霞ヶ浦への流入河川の一つである, 利根川水系桜川について取り上げ, この流域を中心に観察・調査を行い, その結果から河川の水質改善について考察する. 水質・周辺環境について 2015 年 4 月から 2018 年 4 月にわたり現地調査を行い, 桜川が流入する霞ヶ浦との関係も調査し, 季節変化の実態の一端を明らかにした.

1. はじめに

1-1. 利根川水系桜川の概要

利根川水系桜川は, 桜川市, つくば市, 土浦市の広い平野の田園地帯を流れる, 指定延長 63.41 km, 流域面積 350.3 km² の一級河川である^[1]. 桜川市山口にある鏡ヶ池を水源とし, 国内第 2 位の湖面積をもつ霞ヶ浦の西浦に流入する(図-1). 古鬼怒川が作った広い平坦地の中を流れ, 霞ヶ浦流入河川の中では最大規模(延長・面積)の河川である(図-3).

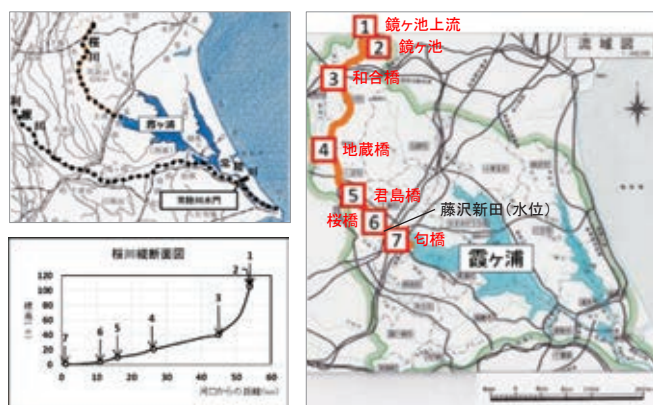
1-2. 研究背景

この研究は, 著者が 2016 年度自由学園最高学部卒業研究としてまとめた「自然と人のかかわり—利根川水系桜川について—」^[2]を土台とし, その後継続して行った調査結果を付け加え再構成したものである.

桜川は, 著者の郷里(茨城県つくば市周辺)を流れている. 桜川下流に位置する桜橋周辺で幼少期から見てきたが, いつ見ても深緑色に濁っており, きれいな川にしたいという思いが桜川を研究対象とするきっかけになった. 現在の桜川の水質は, 良好とは言い難い状況にあるが, 地域でのヒアリング調査から, 昔(1960 年代)の桜川はきれいだったという証言を得た. 茨城県公共用水域測定結果の内, 比較的長期のデータが存在する桜川河口・銭亀橋の DO(溶存酸素量), COD(化学的酸素要求量), BOD(生物化学的酸素要求量)のデータを見ても, 1960 年代後半は低値であった(図-4).

1-3. 研究目的

そこで, 桜川下流桜橋付近(以下, 栗原地先)の水質改善を目指し, 桜川の上下流及び霞ヶ浦等, 周辺水域の水質実態の把握を目的とした調査を行うこととした.



【左上】図-1 利根川流域図

(『流域をたどる歴史関東編』^[3]利根川流域概要図に加筆)

【左下】図-2 桜川河道縦断面図(原図)

(縦断面距離を 25,000 分の 1 の地形図上をマップメジャーで測定. 標高を国土地理院の「地理院地図」で測定して作成)

【右】図-3 霞ヶ浦流域と調査地点

(霞ヶ浦・常陸利根川管内図^[4]に加筆)

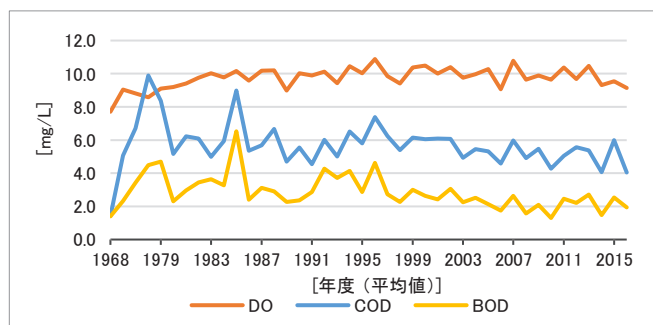


図-4 桜川・銭亀橋の水質経年変化(1968~2016 年度)

(年平均, データ出典: 茨城県公共用水域測定結果)

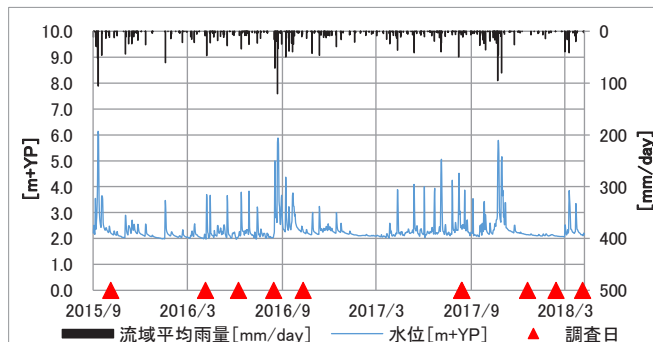


図-5 桜川の水位・雨量と調査日(2015.9.1~2018.4.7)

(データ出典: 水文水質データベース)

2. 調査方法

2015年4月から2018年4月にかけて、桜川本流全域の水質・環境調査、霞ヶ浦及び利根川水系常陸川と常陸川水門、霞ヶ浦を水源とし桜川流域を含む地域一帯に水を供給している霞ヶ浦用水についての現地視察を行った。更に桜川流域で保全活動を行っている団体のヒアリング調査や文献調査を行った。

桜川の水質・周辺環境調査地点は、茨城県の水位観測所設置地点、市の水質調査地点を参考にし、また調査のし易さなども考慮して7地点(図-3)を選んだ。水質調査項目は、2015年は気温、水温、透視度、COD、pH(水素イオン指数)を測定した。2016年からは、亜硝酸態窒素(NO_2^- -N)、アンモニウム態窒素(NH_4^+ -N)、5月と8月のみ一般細菌、大腸菌群、6月のみDOを、2017年からは、硝酸態窒素(NO_3^- -N)、りん酸態りん(PO_4^{3-} -P)を加えた。COD、 NO_2^- -N、 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N、 PO_4^{3-} -Pはパケットテストで測定し、pHは計測器とパケットテストで測定した。採水、透視度、パケットテストの調査は、2015、2016、2017年の6月に参加した「身近な水環境の全国一斉調査」^[5]とほぼ同一の方法で行った。

3. 結果と考察

3-1. 桜川全域の水質・環境調査

桜川全域の水質・周辺環境調査から得られたデータの内、本稿ではパケットテストによる水質項目と透視度の結果を図-7~12に示す。 NO_3^- -Nは河口に向かって上昇傾向、 PO_4^{3-} -P、透視度は河口に向かって低下する傾向が顕著に捉えられた。その他の項目はバラツキが大きいため、平均値を取った結果を図-6に示す。源流の鏡ヶ池上流はいずれの項目も良好であるが、平野部を流下するに連れて悪化する傾向が見られる。CODについても下流部にかけて上昇している。

また、現地状況からは、5月の田植えからの農繁期に、濁水が流入するなど水質が悪化し、流れも少なくなることが確認された。石原ら(2006)^[6]には、この時期に桜川の河川水中の除草剤成分の最高濃度が検出されたことも報告されている。

また、主に農業地帯を流れる桜川の生物相は、上流には在来種の生物が多く、下流には外来種が多い傾向がみられた。魚類などの動物も下流域に外来種がみら

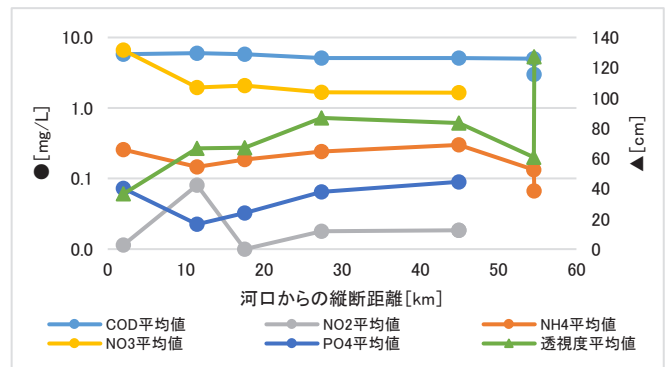


図-6 水質項目別の平均値(2015.10~2018.4)

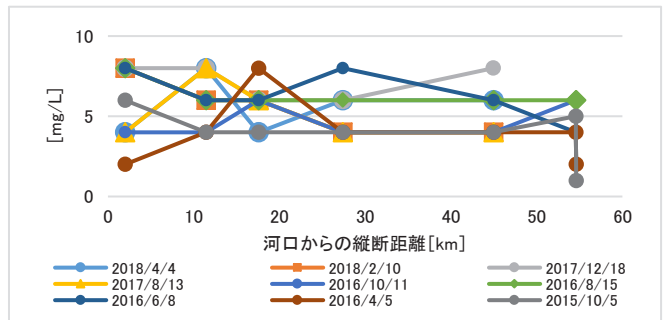


図-7 CODの縦断変化(2015.10~2018.4)

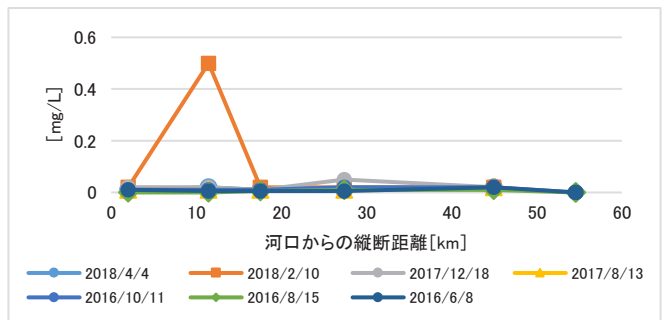


図-8 NO_2^- -Nの縦断変化(2016.6~2018.4)

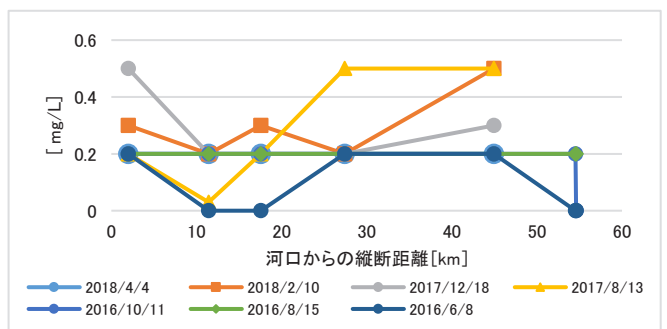


図-9 NH_4^+ -Nの縦断変化(2016.6~2018.4)

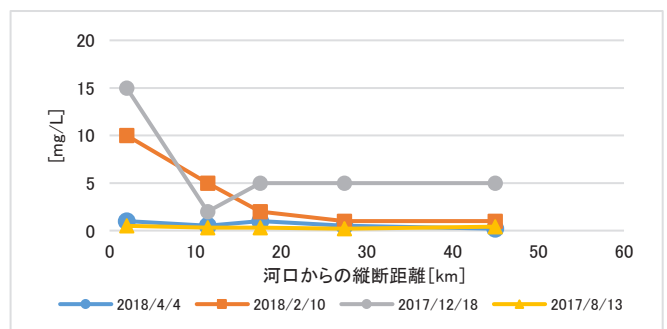


図-10 NO_3^- -Nの縦断変化(2017.8~2018.4)

れた。特に桜橋周辺では外来種のアカミガメが見られ、2015年10月から2018年4月までの調査で、アカミガメかどうか判別できないカメも含め、冬季を除き、毎回数個体以上見られた。

3-2. 霞ヶ浦および常陸利根川の現地調査

桜川から霞ヶ浦(西浦)へと流入した水は、常陸利根川に流れるが、利根川本川との合流点に設けられた常陸川水門は、洪水時以外完全に閉めきられている。これは、霞ヶ浦の水位を一定に保ち淡水のダム湖化とするためであり、その霞ヶ浦の水は霞ヶ浦用水(1994年通水開始)として汲み上げられ農業・水道・工業用水として利用される。農業用水については、耕作に利用された後、農業排水として桜川に入っており、またその水が霞ヶ浦に流入するという特徴的な水循環を形成していることが分かった(図-13)。

4. まとめと今後の課題

以上の調査から、研究対象である桜川の栗原地先は、このような水循環の一部分に当たり、地先での水質改善を進めるためには、桜川流域からの汚濁負荷の低減だけでなく、霞ヶ浦の水質改善が極めて重要であることが分かった。

2016年8月には茨城大学公開臨湖実習に参加して霞ヶ浦の水質や生息する生物について学んだ。また、他大学の学生と霞ヶ浦の水質改善についてのディスカッションを行い、「農業排水の処理を考えることが一番の近道である」とまとめた。霞ヶ浦の課題は桜川の課題でもある。よって、桜川の栗原地先の水質改善には、農業排水の処理を考えることが一番の近道であると考え。今後、県や市の協力のもと桜川流域の農業排水処理方法の改善が必要であると考え。また、継続的に栗原地先を中心に水質調査を行い、結果を周知し、流域住民も桜川に関心を持てるような活動を行っていくことも水質改善への一助となると考える。

謝辞

茨城大学広域水圏環境科学教育研究センターには卒業論文共同利用研究としてご指導いただいた。関係諸機関より資料の提供、地域の方々にはヒアリング調査等でご協力をいただいた。感謝申し上げます。

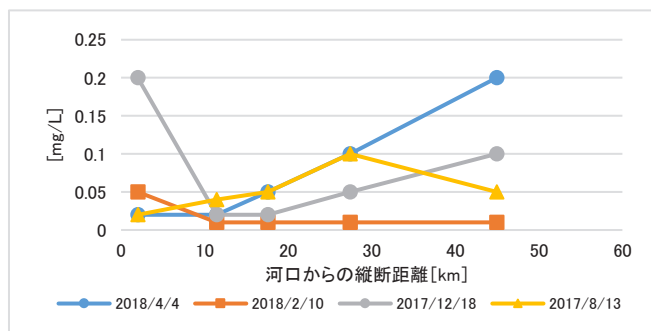


図-11 PO₄³⁻-P の縦断変化 (2017.8~2018.4)

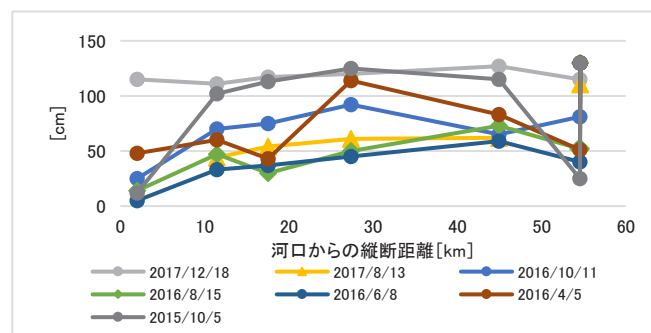


図-12 透視度の縦断変化 (2015.10~2017.12)

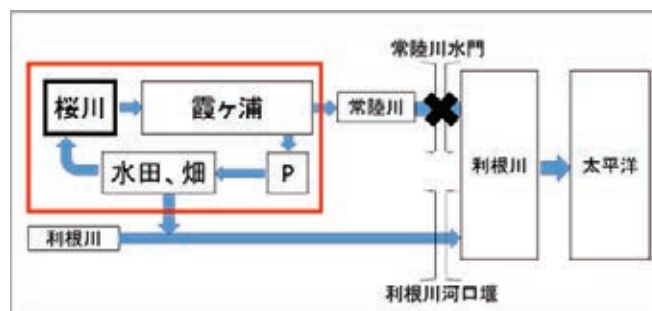


図-13 桜川の水循環のイメージ

参考文献

- [1] 茨城県:霞ヶ浦圏域河川整備計画, ワンダフル桜川, 他.
- [2] 熊田千春:自然と人のかかわりー利根川水系桜川についてー, 2016年度自由学園最高学部卒業研究, 2017.
- [3] 豊田武:流域をたどる歴史(3)関東編, ぎょうせい, 1978.
- [4] 国土交通省:霞ヶ浦河川事務所霞ヶ浦・常陸利根川管内図.
- [5] 全国水環境マップ実行委員会:身近な水環境の全国一斉調査ハンディマニュアル, 2007.
- [6] 石原悟ら:桜川および霞ヶ浦における水稲用除草剤の挙動, 雑草研究, 2006.
- [7] 吉川慎平, 大塚ちか子, 夏井正明, 神明久, 熊田千春, 鷲見哲也:平成29年度土木学会関東支部技術発表会, 霞ヶ浦流入河川・桜川流域における水循環機構の特徴と電気伝導率からみた水質実態, 2018.
- [8] 吉川慎平, 大塚ちか子, 夏井正明, 神明久, 熊田千春, 鷲見哲也:第52回日本水環境学会年会, 高度化した水循環機構下にある霞ヶ浦流入河川・桜川流域の水質特性の可視化を目的とした多地点電気伝導度観測, 2018.

筑波研究学園都市の成長による近隣湖沼への雨水流出負担の変化

仲村 健¹, 馬 東来², 藤川 昌樹³, 大澤 義明³

¹筑波大学システム情報エリア支援室, ²筑波大学システム情報工学研究科, ³筑波大学社会工学域

キーワード: 筑波研究学園都市, 人口重心の移動, 土地利用の変遷,

抄録

本稿では、筑波研究学園都市と周辺湖沼との関係を考察する。つくば地域の上下水利用の状況について資料調査により概観した。さらに、都市化の影響の中で人口定着・重心の動向と土地利用の変化という観点から都市と湖沼との関係の変容を確認した。とくに、雨水排水流末湖沼としての牛久沼への排水負荷の比重が高まってきたことを明らかにし、現状と課題について述べた。

1. はじめに

筑波山と霞ヶ浦は、雄大な地形地物要素であり地域を代表するランドマークである。有史以来つくば地域と霞ヶ浦が結びついた記録・著述も多く存在するが、研究学園都市建設地の決定時にも、豊富な水瓶として霞ヶ浦の存在が決め手のひとつであったとの記録(文献[1])もみられるように、つくば地域と霞ヶ浦の関係は深い。本研究では、閣議決定による計画決定から50年経過し、都市としての成熟期を迎えた筑波研究学園都市近隣に存在する霞ヶ浦及び牛久沼との関係性を概観し、特に、雨水流出に着目し市街地開発に伴う流末への影響を述べる。

2. 方法

本研究では、都市化の影響の中で人口定着・重心の動向と土地利用の変化という観点から研究学園都市と湖沼との関係を捉える。

(1) つくば地域の上下水利用の概観(資料調査)

表1: 資料調査概要

種別	対象用水道等
上水	水道用水: 県南広域水道用水 工業用水: 県西広域工業用水道
農業用水	霞ヶ浦用水
下水	霞ヶ浦常南流域下水道 小貝川東部流域下水道

(2) 人口の変化

1970年代以降の研究学園都市の建設に伴う都市化及び人口定着の状況を、国勢調査人口メッシュデータを利用し人口重心の動きを把握する。

(3) 牛久沼流域の土地利用の変化の把握

筑波研究学園都市がほぼ流域を包含する牛久沼の流域について、国土地理院土地利用図の変遷(1976年、1997年、2016年)により、都市化状況を概観する。



図1: 筑波研究学園都市(つくば市)と周辺湖沼の位置

3. つくば地域の上下水利用の概観(資料調査)

現在、つくば市では上水として、霞ヶ浦を水源とする水道利水が22,562,173 m³(2016年度)で99.41%を占める。農業用水としての利水もあり、この市内受益面積は3,106haである。生活者の目線からみれば、汚水・雨水の排水よりも、直接口にする上水の利水に着目される向きが多いのは当然のことであり、研究学園都市と関係が深い湖沼は霞ヶ浦であると、これまで一般的に考えられてきた。なお、研究学園地区の建設後に霞ヶ浦から上水が供給された(供給開始:1977年)が、その以前は、旧町村の一部に簡易水道事業が設けられており、地下水利用がなされていた。とはいえ、利水に関しては大部分を霞ヶ浦に依存している。一方、公共下水道(汚水)については市域北西の一部地域を除き、利根町の終末処理場を介し利根川に配水され、湖沼を流末とはしていない。他方、公共下水道(雨水)に関しては、研究学園都市の建設時以降、河川に排水する都市下水路が整備されたが、この流域は河川に依存することから、後述の河川の

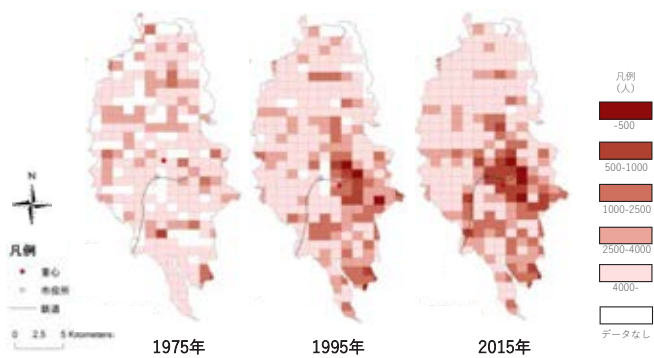


図 2：つくば市における人口変化

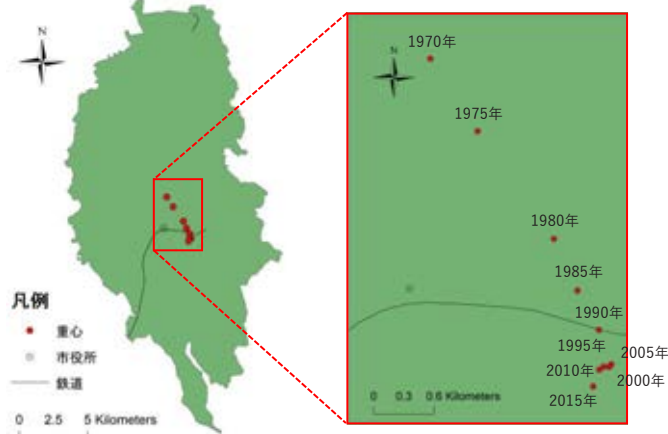


図 3：つくば市における人口重心の移動



図 4：牛久沼流域図. 文献[7]による

いずれに接続するかにより霞ヶ浦か牛久沼のどちらかの水系に属することになる。なお、研究学園都市建設により整備された研究学園地区(つくばセンターの南北に伸びる市街地)に沿って、霞ヶ浦水系と牛久沼水系の分水嶺が縦走している。この分水嶺近辺を水源とする河川は、花室川、小野川(以上、霞ヶ浦水系)、蓮沼川、谷田川、稲荷川(以上、牛久沼水系)である。

4. 筑波研究学園都市内での人口重心の変動

この計画都市の区域はつくば市域と一致しているため、この都市の建設に伴う人口定着は、市域人口で捉えることができる。なお、同市は筑波町、大穂町、豊里町、谷田部町、荃崎町、桜村の 6 ヶ町村の合併で成立したため、旧町村の中心をなす集落・市街地に旧役場が置かれ、それぞれが地域の拠点となっていた。つまり、同市は旧町村それぞれの中心市街地と周辺に遍在する集落による旧来の市街地と、研究学園地区、さらにつくばエクスプレス(以下、TX)沿線開発により形成された市街地というように大きく 3 つの性質の異なる地区を有している(図 1)。なお、研究学園都市建設にかかる用地買収では、地元との妥協からこれら拠点地域や優良農地を避け、山林が切り開かれることとなったが、まさに市街化された旧山林に霞ヶ浦と牛久沼の分水嶺が位置している。

人口重心については、国勢調査地域メッシュの人口データに基づき算出した。1970 年以降 5 年毎に人口重心の動きをみると、1970 年(国土地理院所在地近傍)から 2005 年までの 35 年間で南東方向に約 3.6km 移動した。TX 開通は 2005 年であり、その後の 10 年は南西へ方向を変え、約 300m 移動した。これは鉄道開業前は 100m/年で南東方向(研究学園都市の都市軸に沿う)、鉄道開業後は 30m/年で南西方向(TX 路線方向に沿う)へ重心が移動していることになる(現在はつくば市立葛城小学校近傍に重心が移動した)。この重心移動は、つくば市域における人口偏在の重みが北部から南西部へ移動していることを示す。

5. 牛久沼流域の土地利用の変化の把握

土地利用図(図 5、文献[3]データ図化による。)のメッシュ面積割合に基づき、牛久沼流域の土地利用状況の変遷を確認した(図 6、文献[3]データ図化による。)。これによると、1976 年以降の 40 年間で、約 25%を占めた樹林地が減少し約 10%となった反面、市街地は一貫して増加し、約 10%から約 30%となったことが把握できる。

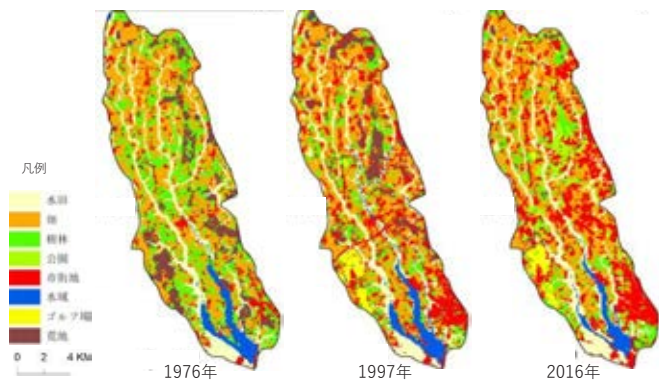


図 5:牛久沼流域の土地利用の変化(土地利用図)

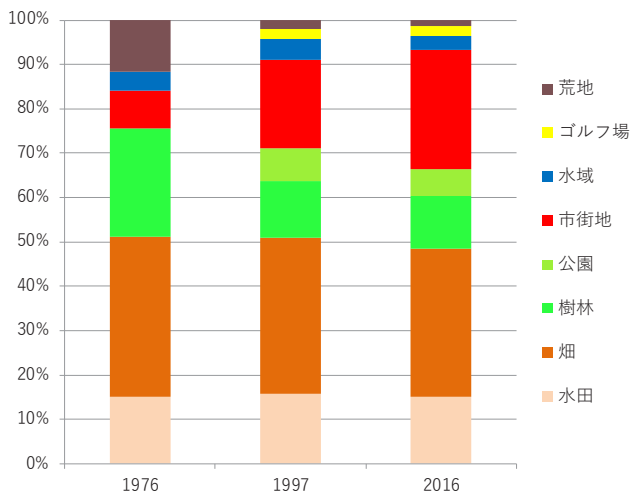


図 6:牛久沼流域の土地利用の変化(用途別割合)

6. 考察

人口重心の移動はつくば市域南部の牽引の力が大きい、市域北部、南部それぞれの地区を流路に含む河川の流末は霞ヶ浦、牛久沼と流域が異なる。特に TX 開通後は沿線開発による影響があることから、及ばず影響(雨水排水)が近年増しているのは牛久沼であり、筑波研究学園都市と湖沼の関係性も、流末への影響という観点からは牛久沼へ排水負荷の比重が高まっている。

7. おわりに

本稿では市街地の拡大、都市化の進行によって、特に雨水処理流域の比重が変化することを示した。

都市基盤として上下水道が普及する以前は、生活面では、井戸水などの地下水、農工業では近隣の河川・溜池などを利用していた。そもそも水資源の供給力は現代にくらべ劣ることもあり家庭からの污水排水自体少ない上、都市的土地利用が進む以前は舗装面が少なく、雨水については宅地・田畑・山林それぞれにおいて地表面での雨水浸透の処理がなされてきた。つまり、地域毎に処理される水循環システムであった。現代において、つくば地域では水瓶は霞ヶ浦に依存しつつも、污水排水は遠隔の利根川へ行われていることは1で記述の通り

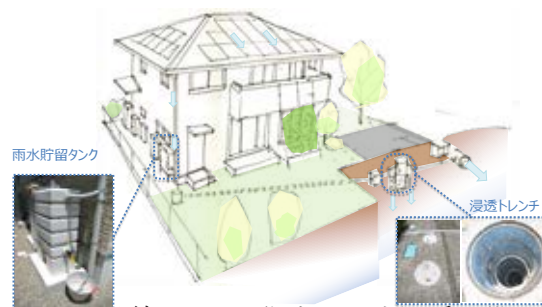


図 7:TX 沿線における住宅地雨水浸透設備(筆者宅)

である。利水や排水といった水循環が地域内で完結していた仕組みが、現在は広域化し上水取水/污水排水が異なる遠隔地(かつ水系が異なる)で行われている。しかし、各地に降る雨の雨水排水は各降雨地近傍の河川に排水となる。このように上下水利用に関して自然水系とは乖離したシステムが形成されている。

TX 沿線で急速な都市化が進むなか、牛久沼流域に改めて目を向けることが重要である。先述の雨水処理に関しては自然の水系に近い処理がなされるという点でいえば、TX 沿線において、各宅地内での雨水浸透を促進する設備の導入が進められていることは注目すべきことではある(図 7)。しかしながら、この設備導入の意義や牛久沼そのものに対する一般住民の関心や市街化による流末への影響への認知は拡大・深化はしていないものと思われる。都市生活利便を享受する住民自身にとって、その生活の基盤となる都市が開発されることに伴って流域流末に与える負荷について認知を広めるなどの啓蒙を図ることも重要といえる。

補足ではあるが、霞ヶ浦・牛久沼をはじめとした湖沼は多くの自治体に接するため、広域自治体連携による対策が肝要となる。多主体による環境保全への多様な取組みを期待したいところである。

なお、今回は検討対象流域において牛久沼をはじめとした下流域に実際にどれだけの流量の変化がみられているのかの実数値の検証はできていない。今後の検討課題である。

引用文献

- [1] 『筑波研究学園都市一都市開発事業の記録』(都市基盤整備公団、2002年)
- [2] 『国勢調査地域メッシュデータ』1970年～2015年
- [3] 『細密数値情報(10mメッシュ土地利用)』1976年、1996年、『数値地図5000(土地利用)』2016年
- [4] 『平成28年度水道事業年報』(つくば市上下水道部、2017年)
- [5] 『企業局の概要』(茨城県企業局、2015年)
- [6] 『筑波研究学園都市』(茨城県、1984年)
- [7] 牛久沼流域図(茨城県): http://www.pref.ibaraki.jp/seikatsukankyo/kantai/suishitsu/la ke/documents/ushiku-ryuikizu_1.pdf

Birds Belonging to the Family Charadriiformes on the shore of Lake Kasumigaura

Tomoharu Nojiri
Municipal Official

Keywords: alluvial lowland, plover, Lake Kasumigaura

ABSTRACT

There are a lot of alluvial lowlands on the shore of Lake Kasumigaura-the second largest lake in Japan. The alluvial lowlands, which are used for lotus fields, rice paddies as well as residences, form the habitat for shorebirds, in particular, birds belonging to the family charadriiformes. 7 species of the family have been observed in the lowlands for 11 years.

1. INTRODUCTION

There extend alluvial lowlands along the embankment all around Lake Kasumigaura. The lowlands are used for lotus fields, rice paddies as well as residences (Figure.1), forming habitats of birds belonging to the family Charadriiformes (hereafter "plover"). In this paper, the result of observations on birds of the family in the lowlands is to be introduced.



Figure.1 The lowlands and the Embankment of Lake Kasumigaura; In the left side of the embankment, there extend rice paddies and a lotus field.

2. METHOD

(1) Method of observations

- A. By driving a small car, so-called "k-car" through narrow trucks among the fields in order to seek birds more thoroughly.
- B. By using binoculars to seek them and a digital camera with a 500mm telephoto lens to judge the kinds of species.

(2) Target area

The alluvial lowlands on the shore of Lake Kasumigaura.

(3) Term of observations

From 11 Nov 2007 to 31 Mar 2018. Times of observations are over 250.

3. RESULTS

7 Species of plovers as follows were observed.

According to "Check-List of Japanese Birds 7th

Revised Edition", there are 15 species of plovers in Japan, it means that there are 47% of Japanese species of plovers in this area.

A. Northern Lapwing

They are common winter resident, staying alone, with several individuals or in a large flock. They sometimes form a flock of over 100 individuals (Figure2).



Figure.2 A flock of Northern Lapwings flying on 14 Dec 2008; In this picture, 102 individuals are photographed.

B. Grey-headed Lapwing

They would be accidental in the target area, appearing alone or with several individuals (Figure.3).



Figure.3 Grey-headed Lapwings on 30 Dec 2014

C. Pacific Golden Plover

They are common migratory in the target area. Though they stay in a flock of tens of individuals in rice paddies, they stay in lotus fields alone or with several individuals. Though it is said that they are generally migratory in Japan, they stayed in Dec 2010 (Figure.4).



Figure.4 Pacific Golden Plovers in non-breeding plumage on 5 Dec 2010.

D. Ringed Plover

They are common winter resident in the target area, instead of being said that they are rare in Japan. They stay with several individuals or alone (Figure.5).



Figure.5 A Ringed Plover on 20 Dec 2015

E. Long-Billed Ringed Plover

They are uncommon resident in the target area, appearing alone or with several individuals (Figure.6).



Figure.6 A Long-Billed Plover on 31 Dec 2016

F. Little Ringed Plover

They are common resident in the target area, though they are generally summer resident in Japan. Breeding of them were seen in Jun and Jul, while they wintered (figure.7).



Figure.7 A Little Ringed Plover in Snowfall on 11 Feb 2011

G. Oriental Plover

They are accidental in the target area as they are said to be accidental in Japan. A flock of 10 individuals stayed at the end of Sep 2011.



Figure.8 An Oriental Plover on Sep 2011

4. DISCUSSION

Kentish Plovers and Mongolian Plovers were not seen, however, they may have been observed somewhere in the target area, because they generally inhabit in the coastal area such as the Kasimanada coast in the vicinity of Lake Kasumigaura.

5. CONCLUSION

7 species of plovers were observed in the alluvial lowlands and the vicinity on the shore of Lake Kasumigaura. Most of them wintered.

REFERENCES

- [1] Check-List of Japanese Birds 7th Revised Edition, 2015
- [2] Field Guide to the Birds of Japan, 2017

KP-29

ハス田における防鳥ネット管理方法とカモ類の侵入状況および食害との関係

小松崎将一¹, 根本亮輔², 高橋是成¹¹茨城大学農学部附属国際フィールド農学センター, ²元茨城大学大学院

キーワード: レンコン, 鳥害, カモ

抄録

本研究では、地域の野鳥の保全とレンコン生産の向上とが両立可能な農作業体系について検討することを目的として、防鳥ネットの利用と水鳥の侵入状況調査および食害に関する検討を行った。その結果、防鳥ネット除去圃場においては、カモ類がマガモ、コガモ、ハシビロガモ、ヒドリガモ、サギ類がコサギ、ゴイサギが確認でき合計で 80 羽の飛来が認められた。これに対し、防鳥ネット完全閉鎖圃場においては、主にバン類のバンが確認でき合計で 17 羽の飛来が認められた。これらの圃場レンコンを採取した結果、2 アールの収穫面積に対し、防鳥ネット除去圃場からは、鳥類の採餌活動によって食害を受けたものの 52 本など合計 55 本の食害があるとされるレンコンを回収し、そのうち食害レンコンの重量が 100g 以上 200g 未満のものが多かった。これに対し防鳥ネット完全閉鎖圃場では食害レンコンは採取されなかった。

1. はじめに

平成 27 年度の野生鳥獣による農作物の被害金額は 5 億 5 千万円余で、ここ数年は 5 億円前後で推移している。26 年度の約 5 億 9 千万円と比較すると約 6 パーセント減少した。鳥類では、茨城県南・鹿行地域においてカモ類によるレンコンへの被害が多く、鳥類全体の約 9 割、鳥獣全体の約 7 割を占めている。(茨城県, 2017)。これらのレンコン田に対し、鳥類の食害を防止するために、レンコン田のかなりの面積に、防鳥ネットが張られ、冬期には、カモ科マガモ属のコガモ、ヒドリガモやクイナ科のオオバンなどを中心に多数の野鳥が羅網して落鳥する事態が続いている(渡辺ほか 2012)。本研究では、地域の野鳥の保全とレンコン生産の向上とが両立可能な農作業体系について検討することを目的として、防鳥ネットの利用と水鳥の侵入状況調査および食害に関する検討を行った。

2. 方法

平成 29 年 2 月に防鳥ネットの設置作業を土浦市田村地区区内において実施した。圃場面積は 18m×54m で約 10a とした。設置した防鳥ネットは、側面ネット: 5 cm 目合、上面ネット: 15 cm 目合とした。また、周囲柱、中間柱およびサポート柱を設置し、エクセル線を設置した。また、出入口のカーテンを設置し開閉できるようにした。防鳥ネット除去の圃場については、防鳥ネット完全閉鎖圃場を管理する農家に提供を依頼し、直線距離にして 60m ほどの圃場を選択した。圃場面積は 18m×54m で約 10a、周囲柱、中間柱およびサポート柱のみで防鳥ネットが張られていない。よって 2 圃

場は同じ農家管理を実施した。

この両圃場において鳥類の飛来侵入状況を確認するために、防鳥ネット完全閉鎖圃場および防鳥ネット除去圃場に関して平成 29 年 10 月 1 日からセンサーカメラを設置した。

平成 30 年 1 月 20 日に防鳥ネット除去の圃場の食害調査を実施した。平成 30 年 2 月 1 日に防鳥ネット完全閉鎖圃場の食害調査を実施した。調査方法は掘り取り量は 2a とし、ハス田に入り収穫する農家の後ろについて食害があるとされるレンコンを回収した。回収されたレンコンは写真を撮り重量および食害範囲を測定した。



図1 防鳥ネット設置なしレンコン圃場におけるカモ類の転倒採餌。2018年1月16日午前1時撮影

3. 結果

田村地区における防鳥ネット除去圃場および防鳥ネット完全閉鎖圃場の間には鳥類の飛来状況、飛来数や飛来鳥種に違いが認められた。防鳥ネット除去圃場においては、カモ類がマガモ、コガモ、ハシビロガモ、ヒドリガモ、サギ類がコサギ、ゴイサギが確認でき合計で 80 羽の飛来が認められた。特にカモ類の飛来数が多く、全体の 9 割を占めていることがわかり、バン類に関しては 1 羽も確認されていない。防鳥ネット完全閉鎖圃場においては、主にバン類のバンが確認でき合計で 17 羽の飛来が認められた。確認されたバンはすべて成鳥ではなく幼鳥のバンであった。またカモ類サギ類に関しては確認されていない。飛来状況について防鳥ネット除去圃場は、11 月下旬からカモ類の飛来が確認できるようになり、その後 12 月の中旬以降はほぼ毎日、日の入り後から日の出までの間で、特に 0 時から日の出の前までの間の時間帯に飛来する傾向があった(図 2)。サギ類の飛来数は少ないが日の出後から日の入りの間に飛来している。防鳥ネット完全閉鎖圃場は、11 月上旬にバンの幼鳥が日の出後から日の入り前までの間のみ確認できた。その後 11 月 21 日の飛来確認以降、飛来が認められていない。

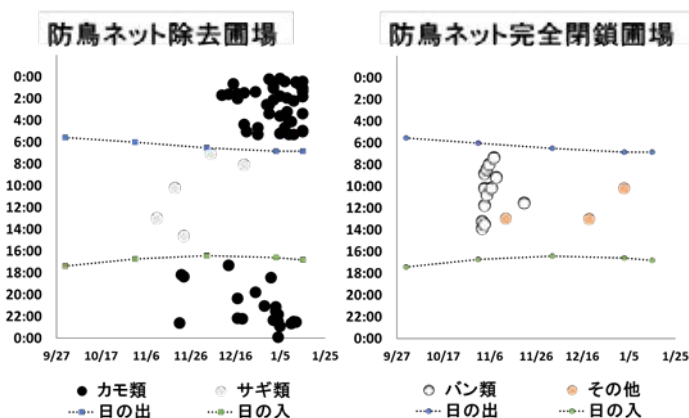


図 2 防鳥ネット管理の違いによる鳥類飛来侵入状況

食害調査について、防鳥ネット除去圃場からは、鳥類の採餌活動によって食害を受けたもの 52 本、鳥類をはじめとする動物の嘴や足指、爪などによって傷がついたもの 2 本、原因不明 1 本、合計 55 本の食害があるとされるレンコンを回収し、そのうち食害レンコンの重量が 100g 以上 200g 未満のものが 20 本と最も多かった。回収された食害レンコンは、食害範囲平均横 4.4cm、縦 5.8cm、平均重量 274.9g、合計重量 15.1kg であった。これに対し防鳥ネット完全閉鎖圃場では食害レンコンは採取されなかった。

表 1 防鳥ネットの有無とレンコンの収量および食害

	防鳥ネット	
	除去	完全閉鎖
2a 収量(kg)	420	480
被害量(kg)	15.1	0
被害率(%)	3.6	0

4. 考察

レンコン田での防鳥ネットへの羅網被害について、根本ら(2017)は 50 圃場を調査した結果、121 羽の羅網被害が確認されたが防鳥ネットを完全閉鎖管理圃場では、羅網被害リスクを 10 分の 1 に低減できることを明らかにしている。また、本研究では防鳥ネット完全閉鎖管理によってレンコンの食害被害を低減できることを明らかにした。農家が防鳥ネットを適正に管理する取り組みをおこなうことで、羅網被害を低減し、レンコンへの食害を低減できることを明らかとなった。

5. 結論

防鳥ネット除去圃場では、多数のカモ類が飛来し、かつこれらのカモ類が採餌活動を行うことで、レンコンへの直接的あるいは間接的に被害を及ぼしていた。これに対し、防鳥ネットの完全閉鎖処理は、オオバンなどの幼鳥などの侵入が認められたが、カモ類の侵入は認められず、かつレンコンの食害が認められなかったことから防鳥ネットの完全閉鎖管理の有効性が認められた。

引用文献

[1] 茨城県：平成 27 年度野生鳥獣による農作物被害調査の結果について（速報） <https://www.pref.ibaraki.jp/nourinsuisan/nokan/katsei/documents/h27chojuhigai.pdf>, 2017.

[2] 渡辺 朝一：ハス田に敷設された防鳥ネットに羅網した野鳥の被害状況と防鳥ネット敷設が鳥類の生息に与える影響. Bird Research 8, A11-A18B.2012.

[3] 根本亮輔・小松崎将一・高橋是成：ハス田における鳥害防止に関する研究, 平成 28 年度日本農作業学会春季大会, 2017.

題名:蓮田の野鳥羅網被害を考える

～ラムサール条約登録湿地になれない理由の考察～

Damage to wild birds caused by nets on lotus fields.

～The reason why Lake Kasumigaura cannot become a Ramsar site～

金澤まち子¹ 海老原信一¹ 高橋かよ子²

¹日本野鳥の会 ²NPO金田台の生態系を守る会

キーワード: 霞ヶ浦 防鳥ネット ラムサール レンコン 羅網

抄録

霞ヶ浦は国内有数の水鳥の生息地である。今、防鳥ネットが蓮田を覆っている。2004年から県の補助金を受けて、霞ヶ浦周辺の蓮田に野鳥除けとしての防鳥ネットが設置されている。水鳥を中心に、猛禽など希少種を含めた野鳥が命を落とす状況になっており「野鳥の会茨城県」の資料によると2014～2018年の5年間で7,000羽強の野鳥の網死が確認されている、この度写真による現状調査を実施した。蓮田農家の網の管理が十分とは言えない事態が依然としてあり、またこの間耐用年数を過ぎた網の撤去などあったものの被害の減少に繋がったとは言えず、今も野鳥が命を落とし続けている。もがき苦しむカモ等が垂れ下がった中を子供たちが通学している、大地は自然の恵みであり、野鳥も私たち人も共存して行くことが大事と考える。今の深刻な状況を写真等の活用で広く認知して頂き、解決への方策を求めラムサール条約登録湿地につなげたいと考える。

Lake Kasumigaura is one of major habitats of aquatic birds in Japan. In spite of that, the surrounding lotus fields *hasuda* are now covered with anti-bird nets. Since 2004, using prefectural subsidies, anti-bird netting has been set up on the lotus fields around Kasumigaura in order to protect them from wild birds. Wild birds - mostly aquatic birds but also rare species such as birds of prey - die because of the nets. According to the data from Wild Bird Society of Ibaraki, in the 5 years from 2014 to 2018 more than 7000 birds lost their life in the nets. We conducted a photographic survey to assess the current situation. We found out that the management of the nets by lotus root farmers is still insufficient and the situation has not improved. Some nets that were past their service life have been removed, but this did not lead to the reduction of damage to the birds, which continue to lose their life in the nets. Children on their way to school walk past the fields with ducks tangled in nets, struggling for their life. We believe that it's important for humans to coexist with wild birds and share the blessings of nature. Our aim is to use photographic and other evidence to gain wide recognition of this serious issue and to call for measures to solve it, and eventually achieve protected status by registration of the site under Ramsar Convention.

1. はじめに

霞ヶ浦は冬鳥が多く飛来する湖であり、湖とその周辺を取り巻く広大な蓮田には野鳥が数万羽集まる野鳥の楽園であった。ところが蓮田に2004年頃から防鳥ネットが設置され[1]、2005年頃から殆どの蓮田に拡大して行った。日

野鳥の会茨城県の2009年、2010年の1月末に行う羅網被害調査によると、一年で約2000羽[2]のカモ類・猛禽類・その他各種の野鳥類が網にかかったことが報告されている[2]。この悲惨な状況の解決方法を探る基礎として

観察結果を報告する。

2. 方法

巡回観察は、2007 年ごろから 2018 年現在まで毎年冬季 9 月末から翌年 4 月末までの間は週に 5 日程度、自転車で土浦地区の蓮田周辺約 20 キロ余りを午後の 3～4 時間パトロールして(図 1)、羅網している野鳥を救出したり、指定病院に運んだり(図 6)、県環境政策課や農協に通報して救出依頼しながら観察した(図 1)。

巡回中の救出前や救出不能だった羅網により死亡した被害野鳥の様子を、カメラ(キャノン(1Ds マークII 及びニコン COOLPIX B700)で撮影記録した。

時々、ネットを張った蓮田で作業者に生産状況等の様子を聞いた。

3. 結果

撮影した写真は 1 日平均 5 枚、11 年間で 3000 枚近くに達した。野鳥の会茨城県で調査した羅網した鳥の数は、霞ヶ浦周囲 250km の 1 日調査では、約 2000 羽であった。巡回した延長 20～30km では、羅網した鳥がない日はなく最低 300 羽、多い時には 500～600 羽に達していた。中には、救出できる鳥がない日もあるが、平均して 3～4 羽で、多い時は 10 羽以上救出した。救出は農道や畔道に近い手の届くネットでした。できなかった(図 2)。

時によっては、カモ類を狙って 2 次羅網したオオタカ(図 3)やチュウヒ、ハヤブサなどの貴重なワシタカ類、サンカノゴイ(図 4)等(図 5・7・8)の死骸もあった。

4. 考察

防鳥ネットは、農家が収穫を終えた後も外さない。一度張ると劣化し破損するまで放置するなどした結果、網の外側と内側から鳥の種類を選ばず、水鳥・希少種など引っかけり、犠牲になっていることが確かめられた。

羅網は蓮根の鴨類による食害を防ぐためとの設置理由であるが、カモが収穫前のレンコンを食べることについての明確な調査証拠はない。[3]。

5. 結論

防鳥ネットは 2004 年頃より、カモがレンコンを食害しているという根拠のない理由の下、農水補助金により設置され、ほとんどの蓮田に拡大した。著者らが観察した 2008 年から 10 年経過しても羅網は減少していない。防鳥ネットの新たな設置の停止と、風化・劣化した防鳥網を撤去しない限り痛ましい羅網は防げない。農業団体・行政・保護

団体の調査と協議を十分にすることが希少種をはじめとした自然の命を保護するのに必要と思われた。霞ヶ浦をラムサール条約登録湿地にして人と野鳥が共存をはかるべきである。



図 1 調査コース



図 2 天井ネットでもがくマガモ(土浦市田村)



図 3 網にかかったオオバンを食べるオオタカ(沖宿)



図4 網にかかって死んだ絶滅危惧種サンカノゴイ(沖宿)



図7 足を絡めとられ、死亡した若いゴイサギ(田村)



図5 翼を絡めとられ、死亡後間もないオナガガモ(田村)



図8 冬の蓮田風景:防鳥網で死んでいるオオバン等多数



図6 沖宿で救出し動物病院に搬送したコミミズク

引用文献

- [1] 日本野鳥の会茨城県会報誌 No.309 平成 21 年 防鳥ネット被害調査結果報告 p4 1 行目~3 行目
- [2] 野鳥 日本野鳥の会 2018 年 5 月 p36 19 行目
- [3] 日本野鳥の会茨城県会報誌 No. p DNA を使って蓮田を利用する水鳥の食物を調べる 国立環境研究所 安藤温子

The per capita runoff change analysis in a watershed—an example of Lake Kasumigaura basin

Donglai Ma¹, Ken Nakamura¹, Yoshiaki Osawa¹

¹University of Tsukuba

Keywords: land use/cover changes, comprehensive runoff coefficient, per capita runoff, Lake Kasumigaura basin

ABSTRACT

This research took Lake Kasumigaura Basin as an example and discussed the effect of land use/cover changes (LUCC) on per capita runoff change through the spatial analysis. The results showed that: 1) Land Use/Cover types have changed enormously in Lake Kasumigaura Basin in the past 40 years; 2) LUCC influenced the runoff change which can be described by the increase of comprehensive runoff coefficient from the year 1976 to 2014; 3) Per capita runoff kept stability, but people would share more rainwater runoff in the future.

1. INTRODUCTION

The earth's topography and landforms are the results of mountain-river-lake-sea interaction. The most active and the shortest cycle interaction is river-lake. The energy exchanged day and night, which fully demonstrated the life characteristics of rivers and lakes. With the rapid development of Tsukuba city after the high economic growth period of Japan, land use/cover types have a great change in Kasumigaura basin. Even though Japanese government had published a very scientific master plan on constructing of Tsukuba city, also the natural river channels were deepened, widened and leveed during the urbanization process; local natural environment has deeply changed. Both history and reality showed that lake play a key role in the flood control of the middle and downstream^[1], while natural lakes have irreplaceable advantages compared with artificial flood control projects. Lake Kasumigaura is the extreme end of the watershed and has been strongly influenced by the mainstream for a long time. In addition, the Lake Kasumigaura development project was implemented from 1970 to 1995, and large-scale construction also mass maintenance was carried out. As watershed is a complex and open regional system, its development was effected by many factors nowadays by the concept of World-Basin-Urban^[2] (Table 1). At the same time, the population has begun to decline and the proportion of people of working age continues to decrease. The birthrate is well below replacement level. Japanese people are aging fast. This research took

Kasumigaura basin as an example and discussed the effect of land use/cover changes (LUCC) in upstream and the changes of comprehensive runoff coefficient, which can provide a basis for keeping basin healthy and sustainable development^[3].

Table 1 Concept of World-Basin-Urban

Scale	Description
Global	Extreme weather and climate events, storm surge caused by sea level rise, salt water intrusion, etc.
Basin	Unreasonable land use, excessive deforestation, water and soil erosion, river way transformation, deterioration of river water quality, natural and geographic conditions and hydrological location characteristics of a city, etc.
Urban	Impervious area increases, forest and green space decrease, wetland decrease, drainage pipe laying, river way artificialization, drainage system aging, highly intensive population and wealth, etc.

2. METHODS AND MATERIALS

In this research, land use/cover data was obtained from National Land Numerical Information Service Download System and then transferred into raster data by the software of ArcGIS for Desktop V10.3, which was used to analyze the spatial relationship among each element in the Kasumigaura basin. The basin boundary was extracted by the mesh data from Geospatial Information Authority of Japan and verified by the paper map from Ibaraki Kasumigaura Environmental Science Center. Population data was supported by Company of

Infonica.

Weighted average method was used to calculate the comprehensive runoff coefficient change with the suggestion of Notification No. 521 from Ministry of Land, Infrastructure and Transport (Table 2). The expression is as follows:

$$\sum_{i=1}^n w = \frac{a_i}{n} \times q_i$$

Where, w is the sum of runoff coefficient, a_i is the area of the land use type i , n is the total area of the basin, q_i is the runoff coefficient land use type i .

Per capita runoff calculation is assumed that precipitation does not change too much over years, which the expression can be described as follows:

$$\bar{d} = \frac{w}{s} \times p$$

Where, \bar{d} is per capita runoff, s is total population in the region, p is the precipitation as a constant.

Table 2 Runoff coefficient Standard

Land use/cover	Runoff coefficient (q)
Water	1
Urban area	0.9
Golf	0.5
Dry farming field	0.3
Paddy field	0.2
Forest	0.2
Uncultivated land	0.2

3. RESULTS

According to the former research [4, 5], we generalized the land use into 7 types of past 40 years (Figure 1). From the figure 1 we can clearly see that the land use was changed. Especially in the upstream area, which named Tsukuba City and Tsuchiura City, urban areas have obviously increased while forest area decreased, uncultivated land was effectively used and golf courses was developed in the downstream area over time. Fortunately, the lake area has not changed much.

Then we calculated by the generalization, land use type change is shown in figure 2, while runoff coefficients change and population change is shown in figure 3.

From figure 2 we can understand that the urban area increased by 2.4 times from 1976, while the forest area decreased by 0.69 times as before. A large number of golf courses developed in the 1990s, which accords for 1.61% of the basin.

And from figure 3 there is no doubt the comprehensive runoff coefficient has huge changed as a value of 0.61(1976 was 0.46), this means a large number of rainwater need to be discharged downstream than before, this increased not only the pressure of the lake in downstream area, but also a great waste of water resources. While population showed the same trend with comprehensive runoff coefficient. But population is illustrating a downward trend over time, and this means

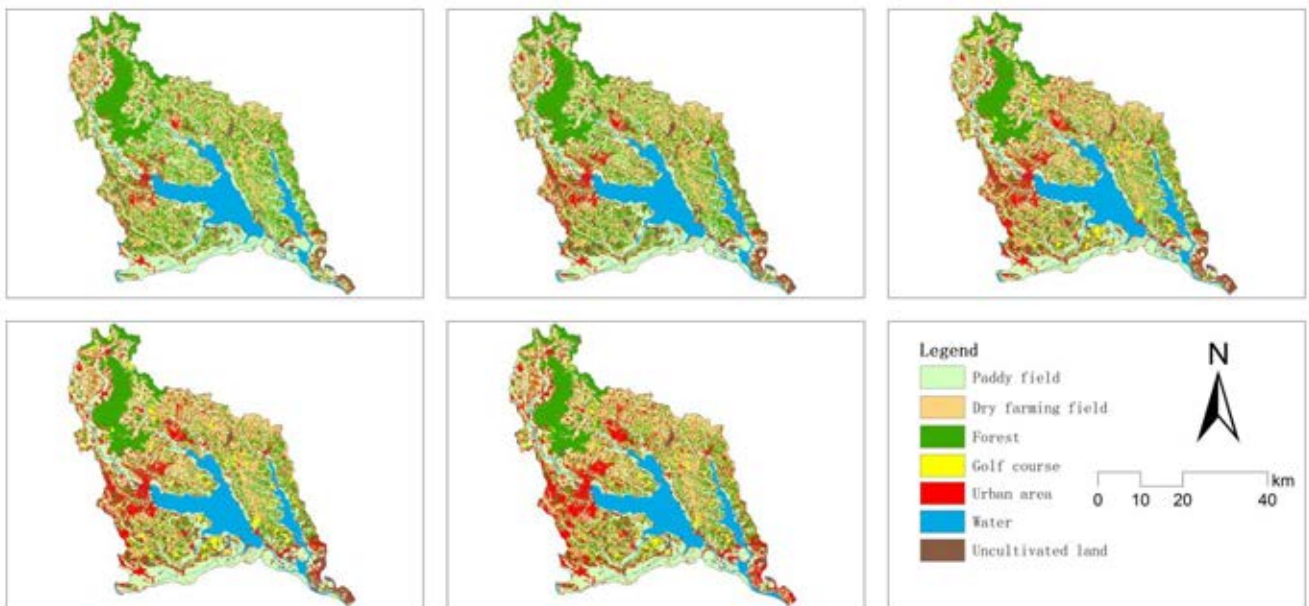


Figure 1 Land use changes of Lake Kasumigaura Basin from 70' to 10'. From the left they are successively the year of 1976, 1987, 1997, 2006, 2014.

stable per capita runoff in the area will change based on the function of section 2.

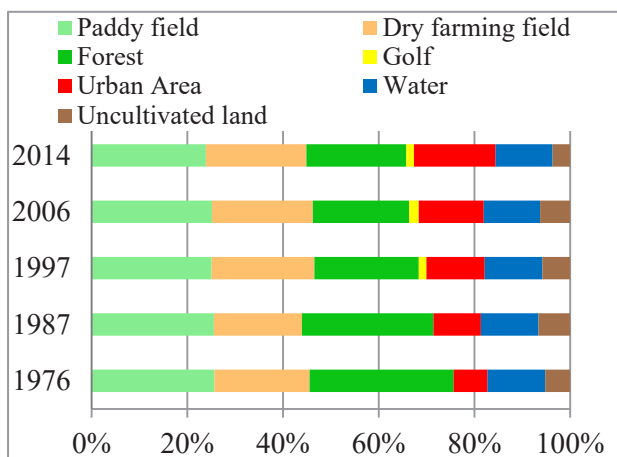


Figure 2 Comparison of land use changes in Lake Kasumigaura Basin

According to government estimates there are 8 million residences in Japan with no one living in them. But these abandoned houses will stay there for a long time until management. This means that people need to share more rain risks even flooding losses, in another word, the value of per capita runoff will increase.

Urban area would expose more risk under extreme rainfall without the timely drainage, because there are more people and wealth concentrated in the city. At the same time, the channels between the Lake Kasumigaura and River Tone River have a high risk if there is a flooding. Water intrusion is possible based on historical data, even if we did not make such a simulation in this research. From the year of 1997 the comprehensive runoff coefficient stayed stable, even in 2006 it showed a little low value we can still considered there is no rising trend, because the social structure of Kasumigaura has reached saturation.

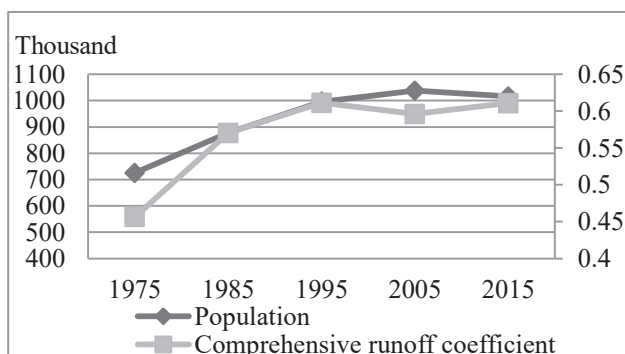


Figure 3 Comprehensive runoff coefficient change and population change in Lake Kasumigaura Basin

4. Conclusions

- 1) Land Use/Cover types have changed enormously in Kasumigaura basin, i.e. urban area expanded from 2.4 times during the past 40 years;
- 2) Both the comprehensive runoff coefficient and the population of the basin increased nearly 1.5 times from 1975 to 2015;
- 3). Per capita runoff in the area kept stably.

This study warns that the lakes in the downstream are suffering much more flood pressure than before even there are less flooding disaster happened recently. Once the flood comes, the losses are still large will be inestimable. From the result the comprehensive runoff coefficient is being stable and has no rising trend, and per capita runoff in the area kept stably, which means the social structure of Kasumigaura basin has reached saturation. To promote regional development, it is necessary for government to make reasonable and scientific policies, keep maintenance even evolution with the background of that the population has begun to decline, local people in the area also should protect the environment themselves strictly.

REFERENCES

[1] Priess J A, Schweitzer C, Wimmer F, Batkhisig O, Mimler M. (2011): The consequences of land-use change and water demands in Central Mongolia. *Land Use Policy*, Vol. 28, No.1. pp. 4–10

[2] White M D, Greer K A. (2006): The effects of watershed urbanization on the stream hydrology and riparian vegetation of Los Peñasquitos Creek, California. *Landscape and Urban Planning*, Vol.74.No/2.pp.125–138

[3] Tu M, Hall M J, de Laat P J M, de Wit M J M. (2005): Extreme floods in the Meuse river over the past century: aggravated by land-use changes? *Physics and Chemistry of the Earth*.Vol.30.pp.267–276

[4] Naef F, Scherrer S, Weiler M. (2002): A process based assessment of the potential to reduce flood runoff by land use change. *Journal of Hydrology (Amsterdam)*, Vol. 267. pp. 74–79

[5] Brath A, Montanari A, Moretti G. (2006): Assessing the effect on flood frequency of land use change via hydrological simulation (with uncertainty). *Journal of Hydrology (Amsterdam)*, Vol. 324. pp. 141–153

霞ヶ浦(北浦)におけるユスリカ幼虫密度の長期変化

Park Soeun¹, 中里 亮治¹, 荻部 甚一^{1,2}, 石井 裕一^{3,4}¹茨城大学広域水圏センター, ²現・近畿大学, ³元・茨城県霞ヶ浦環境科学センター, ⁴現・東京都環境科学研究所

キーワード: 北浦, 底生動物, ユスリカ幼虫, 長期変遷

抄録

1999年から2016年の間、霞ヶ浦の北浦に生息するユスリカ幼虫組成とその密度の変化を調べた。北浦の湖心部(1 定点)での定期調査は1999年から、また北浦の南北を縦断するように5つの調査地点を設けた複数の定点調査は、2007年から2016年まで実施した。その結果、北浦の軟泥部で優占するユスリカ幼虫は、オオユスリカ *Chironomus plumosus*, アカムシユスリカ *Prosilocerus akamusi*, オオカスリモンユスリカ *Tanytus nakazatoi*, およびスギヤマヒラアシユスリカ *Clinotanytus sugiyamai* の4種であった。北浦の湖心部(水深約6.5m)における幼虫密度の長期変遷を見ると、オオユスリカ幼虫の密度には大きな変化が見られなかった。アカムシユスリカは2001年~2007年の間はほぼ採集されなかったが、2008年以降は個体数の回復傾向がみられた。オオカスリモンユスリカとスギヤマヒラアシユスリカは2008年以降、湖心部ではほとんど採集されなかった。北浦の幼虫密度の長期変遷やその変化をもたらす要因について議論した。

1. はじめに

霞ヶ浦の環境問題として、水質悪化と並んで重要と考えられるのは生物群集に関わる環境問題である。特に水草帯の減少、有用魚種の減少、外来生物の増加、極近年では東京電力福島第一原発事故による放射能汚染やそれによる水産魚種の出荷規制など多岐にわたっている。このような霞ヶ浦における現在生じている、あるいはこれから新たに起こるであろう生物環境問題を抽出し、それらの解決方法を探るためには、霞ヶ浦の生物群集の変化を追跡できる地道なモニタリングが重要である。

ハエ目ユスリカ科の昆虫であるユスリカ幼虫は湖沼の底生動物群集の主要構成員であり、貧毛類と並んで個体数・現存量ともに優占する生物群であり、その種も国内で約2,000種、世界では約15,000種が知られている。底生性のユスリカ幼虫は主に植物プランクトンを餌資源として成長する一方で、魚などの捕食者の重要な食物源として利用される。そのため、ユスリカ幼虫の個体数や現存量の増減や種組成の変化などを長期間追跡し、それらの動態に影響する要因を知ることは、霞ヶ浦の一次生産者である植物プランクトン組成の変化が高次栄養段階の生物に及ぼす影響評価、近年の霞ヶ浦有用魚種の減少理由、外来魚が湖沼生態系に及ぼす影響評価などを解明する上で、重要な手がかりになるかもしれない。

このユスリカ幼虫について、霞ヶ浦水域において最も広い面積を有する西浦においては、国立環境研究所による30年以上のモニタリング実績がある。一方で、北浦のユスリカ幼虫についてはこれまで単発的な研究が多く、連続した長期データに基づいて、個体群動態やそれに影響する要因について議論できるようなデータはほとんどなかった。中里ら¹⁾は1929年から2002年までに報告された文献のデータを整理し、それら35年分のデータを用いて北浦のユスリカ幼虫の長期変遷についてまとめている。ただし、この解析に用いられた過去の文献の多くは種別ではなくユスリカ幼虫全体の個体数のみであったり、種の情報がある文献の場合でも、その種同定が十分にされていないものが多く、大型で比較的同定が容易なオオユスリカ *Chironomus plumosus* とアカムシユスリカ *Prosilocerus akamusi* の2種についてのみの報告が多かった。そのため、中里ら¹⁾では、オオユスリカとアカムシユスリカ幼虫の長期変遷やそれに影響する要因については考察をしているものの、それ以外の種については情報不足によりほとんど議論されていない。その中里ら¹⁾では2000年の北浦全域分布調査(60地点)の結果から、13種のユスリカ幼虫が生息していること、さらに、これまで霞ヶ浦の西浦と北浦からは報告例が無かった *Tanytus nakazatoi**が、北浦ユスリカの優占種の1種であることを明らかにした。また、北浦の幼虫密度は1980年初頭がピーク

であり、その後減少傾向にあることも報告している。

1999年以降、北浦のユスリカ幼虫については、北浦湖畔に位置する茨城大学広域水圏環境科学教育研究センター(CWES)の霞ヶ浦定期観測グループが途中の一時的な中断はあるものの、北浦の湖心部での調査を継続してきた。さらに2007年以降は北浦の南北の5定点でユスリカ幼虫のモニタリングを継続している。また2009年3月には北浦の40地点で全域分布調査をした。

今回の発表では、1999年から現在までの調査データを解析し、北浦におけるユスリカ幼虫の個体群動態とそれに影響する要因について考察する。また2009年の全域分布調査と2000年2月の全域分布調査の結果を比較することで、ユスリカ相の変化や個体数の増減について議論する。

*中里ら^[1]の論文では *T. punctipennis* とされているが、その後同種は *T. nakazatoi* として新種記載された。

2. 方法

北浦について

北浦は茨城県の南東部、西浦の東側に位置する南北に長い湖で(図1)、周囲長64km、面積35.2km²、平均水深4.5mの浅い富栄養湖である。一般的に霞ヶ浦というときは面積の大きい西浦を指すことが多いが、正式には北浦、西浦、北利根川、常陸川、鱒川および外浪逆浦をあわせた総称である。北浦は潮来市、行方市、銚田市、鹿嶋市などの市町村に囲まれ、約20万人がその北浦周辺に居住している。霞ヶ浦の水質は近年の傾向として全窒素・全リン濃度が西浦ではほぼ横ばいであるのに対し、この北浦では上昇傾向にあり、北浦の水質悪化は西浦以上に深刻な問題となっている。

調査地点と幼虫の採集方法

調査地点は北浦のほぼ北端にあたる高田沖にSt.K1を取り、そこから南に向かって合計5定点を設けた(図1)。ユスリカ幼虫はエクマンバージ採泥器を用いて各地点3~5サンプルずつ採集し、344μmメッシュのサーバネットで捕集した。採集と同時に環境要因として透明度、水温、溶存酸素量を測定した。

1999年から2007年3月まではSt.K7で、2007年以降はSt.K1~K10の5定点で調査をした。その他に2009年2月には北浦の40地点で分布調査を実施し

た。幼虫の採集方法は定期観測と同様の方法でおこなった。環境要因として水温、溶存酸素のほか、採取した堆積物の強熱減量と含砂率を測定した。

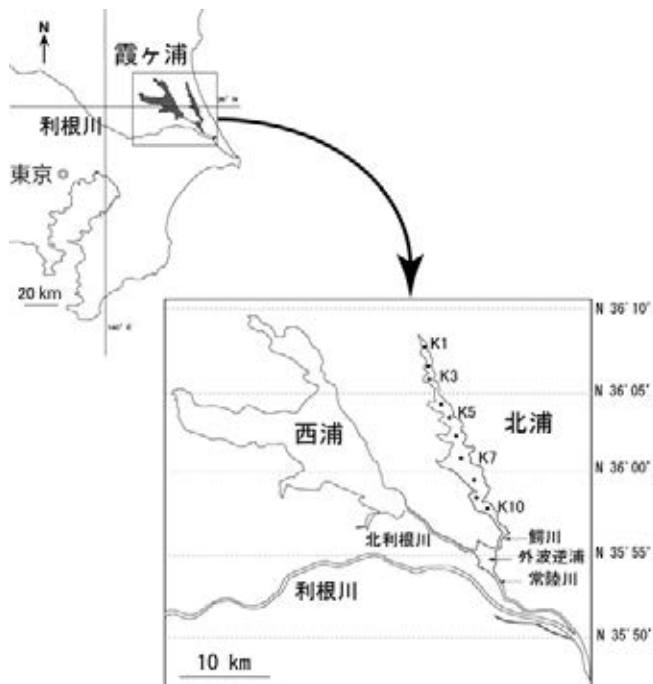


図1 北浦の位置と調査定点(St.K1~K10)

3. 結果と考察

調査期間を通して北浦から合計15種のユスリカ幼虫が採集された。その内訳はモンユスリカ亜科のスギヤマヒラアシユスリカ *Clinotanypus sugiyamai*, カユスリカ属 *Procladius* sp., カスリモンユスリカ *Tanypus kraatzii*, オオカスリモンユスリカ, エリユスリカ亜科のコガタエリユスリカ属 *Hydrobaenus* sp., コガタエリユスリカ属 *Nanocladius* sp. アカムシユスリカ, そしてユスリカ亜科がオオユスリカ, ナガコブナシユスリカ属 *Cladopelma* sp., カマガタユスリカ属 *Cryptochironomus* sp., スジカマガタユスリカ属 *Demicryptochironomus* sp., ハイイロユスリカ *Glyptotendipes tokunagai*, コブナシユスリカ属 *Harnischia* sp. オオミドリユスリカ *Lipiniella moderata*, コガタユスリカ属 *Microchironomus* sp., ハモンユスリカ属 *Polypedilum* spp., およびヒゲユスリカ属 *Tanytarsus* sp. であった。これらの中で北浦の軟泥部の底質からの出現頻度が高かった種はオオユスリカ, アカムシユスリカ, オオカスリモンユスリカ, スギヤマヒラアシユスリカの4種であった。

図2に2007年3月から2014年8月までの湖心部

(St. K7, 水深約 6m) における優占 4 種ユスリカ幼虫の個体数変動を示した。また表 1 には St. K7 の 1999 年から 2016 年の冬季における個体数密度の長期変遷を示した。

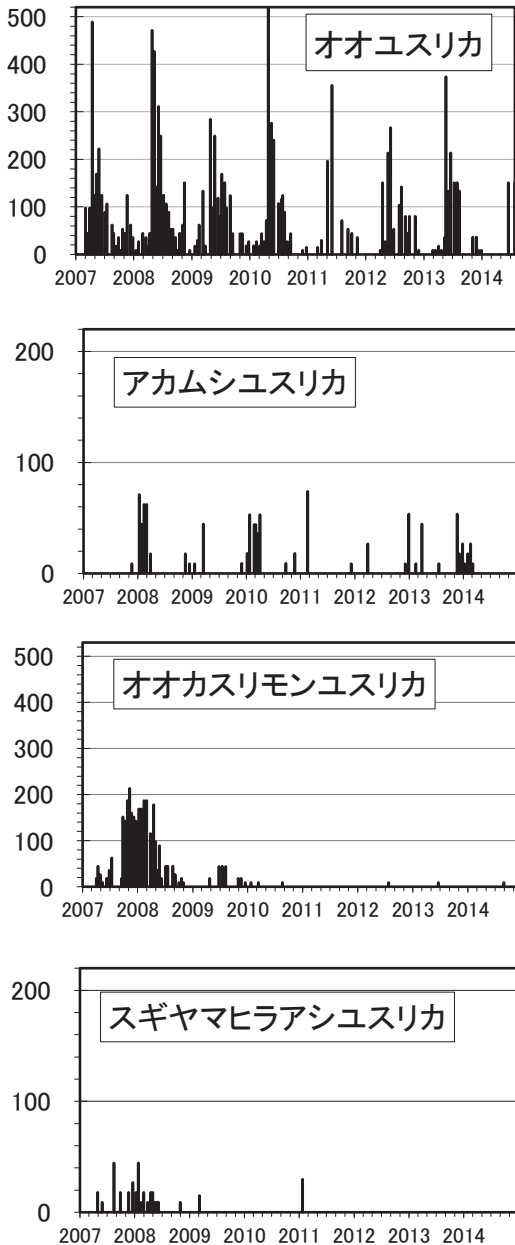


図 2 北浦の湖心部(St.K7)で優占する 4 種のユスリカ(オオカスリモンユスリカ, アカムシユスリカ, オオカスリモンユスリカおよびスギヤマヒラアシユスリカ)幼虫密度の経年変化

2007 年～2014 年までの幼虫密度の変化を見ると、オオユスリカの場合は 1 年間の中で 5-6 月に密度のピークを持ちながら一定の増減を繰り返して密度が推移したが、大きな経年変化は見られなかった。冬季に限定した

幼虫の長期変遷をみると、2010 年以降ほとんど採集されていない(表 1)。アカムシユスリカの場合は、冬季に限定して採取されており(4 月～10 月までは底泥の深い深度にいたためエクマンバージ採泥器では採取不可能)、その密度は 100 個体/m²以下であった。またその長期変遷を見ると 2001 年～2007 年の間はほぼ採集されなかったが、2008 年以降は個体数の回復傾向がみられており、2016 年には 1999 年に次いで高密度となっていた。オオカスリモンユスリカについては、2008 年に密度のピークがあるもののそれ以降減少している。ただし、北浦最北端の深度の浅い St.K1(水深約 1.5m)での調査結果では、2013 年、14 年も密度が高かったため、これは湖心部(St.K7)だけの現象かもしれない。スギヤマヒラアシユスリカは 2005 年以降湖心部ではほとんど採集されなかった。

表 1 St.K7 における優占ユスリカ種の密度(個体数/m²)の長期変遷。表中の “-” はサンプル分析中を意味する。

Year, month	オオユスリカ	アカムシユスリカ	スギヤマ ヒラアシユスリカ	オオカスリ モンユスリカ
	<i>Chironomus plumosus</i>	<i>Propsilocerus akamusi</i>	<i>Clinotanypus sugiyamai</i>	<i>Tanypus nakazatoi</i>
1999, Jan	119	758	380	7
2000, Feb	27	96	90	71
2001, Jan	163	69	158	59
2001, Dec	15	15	148	0
2003, Jan	15	15	533	0
2004, Feb	-	-	-	-
2005, Apr	15	0	15	0
2006, Mar	178	0	0	98
2007, Mar	98	0	0	18
2008, Feb	27	62	18	187
2009, Feb	18	0	0	0
2010, Feb	18	44	0	0
2011, Feb	0	74	0	0
2012, Feb	0	0	0	0
2013, Feb	0	9	0	0
2014, Feb	0	27	0	0
2015, Jan	18	27	0	0
2016, Feb	0	524	0	0

謝辞

本発表に使用したデータの多くは茨城大学広域水圏センター霞ヶ浦定期観測グループによって得られたものである。この場を借りてお礼申し上げる。

引用文献

- [1] 中里 亮治・土谷 卓・村松 充・肥後麻貴子・櫻井秀明・佐治 あずみ・納谷友規, 北浦におけるユスリカ幼虫の水平分布と個体数密度の長期変遷, 陸水学雑誌, Vol. 66, 165-180, 2005.

銚田地域における地下水中の硝酸態窒素濃度と土地利用及び畜産関連施設との関係

平野七恵¹・江口定夫¹・板橋直^{1,2}・吉川省子¹・大内孝雄^{3,4}・松森堅治⁵

¹農研機構農環研 ²農水技会事務局 ³茨城県霞ヶ浦環境科学センター ⁴茨城県環境対策課 ⁵農研機構西日本農研

キーワード: 硝酸態窒素、地下水、土地利用、QGIS、空中写真

抄録

農畜産業が盛んな銚田地域を対象に、地下水中の硝酸態窒素濃度に及ぼす土地利用及び畜産活動の影響を調査した。採水井戸から異なる半径の範囲を対象に、土地利用別面積率及び畜産関連施設を空中写真を用いた地理情報システム (GIS) 解析により求め、さらに堆肥置き場の周囲を堆肥散布の多い領域とみなして他と区別した。これらを独立変数、硝酸態窒素濃度を従属変数として赤池情報量基準 (AIC) に基づき最適重回帰モデルを選定した結果、井戸からの半径 500 m を GIS 解析範囲、堆肥置き場からの半径 150 m を堆肥多散布領域としたときに最小 AIC の最適モデルが導出され、地下水中の硝酸態窒素濃度の地域内分布を説明するための土地利用及び畜産活動に関わる変数とその空間的範囲が特定された。選定された独立変数の一つである水田面積率は負の偏回帰係数を有し、水田からの地下浸透水が硝酸態窒素による地下水汚染を軽減する効果を持つことが示唆された。

1. はじめに

霞ヶ浦の北浦に注ぐ銚田川は、硝酸態窒素濃度が高く、環境基準 (硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素) である 10 mg N/L を超えることがあるため、原因の解明が求められている。銚田地域は畑作が卓越し、露地畑ではニンジンや甘藷、施設畑ではメロンや葉菜類が多く栽培されている。また、台地上には地下水を灌漑する水田が多く分布する。さらに、畜産業も盛んに行われており、1 km² あたり約 1800 頭の豚が飼養されている。これまで、銚田川流域の河川水中の窒素を対象とした研究報告は多いが、河川水の主要な供給源の一つである地下水を対象とした研究はほとんど行われていない。

本研究では、地下水中の硝酸態窒素濃度に着目し、農畜産業がその濃度の空間的分布に与える影響を把握するため、採水井戸周辺の土地利用および畜産関連施設との関係について調べた。

2. 方法

銚田地域を対象に、2014~2017 年に計 70 か所の井戸で地下水を採取し、硝酸態窒素濃度等を測定した。採水井戸から半径 100, 300, 500 及び 700 m 以内の範囲において、井戸ごとに土地利用別面積率を算出し、硝酸態窒素濃度との関係 (統計的に有意な

相関関係の有無) を調べると共に、どの半径で土地利用面積率を算出すると、硝酸態窒素濃度と有意な相関関係を示す土地利用が増えるかを調べた。土地利用別面積率の算出には、空中写真 (2003 年 10~12 月、撮影縮尺 2 万分の 1) から目視判断で水田、露地畑、施設畑、森林、樹園地、荒地、建物用地、パドック (畜舎に隣接した家畜用運動場) 等を分類して自作した土地利用図を使用した。また、空中写真から畜舎の屋根面積 (家畜飼養規模の指標) の計算、堆肥置き場 (堆肥散布量が多い領域の指標) の目視同定等を行った。GIS データ作成・解析には、フリーソフトである QGIS を用いた。

さらに、上記 4 つの半径の集計範囲を対象に、地下水中の硝酸態窒素濃度を従属変数、土地利用別面積率及び畜舎の屋根面積を独立変数として、様々な組合せで重回帰分析を行い、赤池情報量基準 (AIC) が最小となる独立変数の組合せを選定して最適重回帰モデルとした。これらの結果、後述するように、半径 500 m を集計範囲としたときに AIC が最小となる重回帰モデルが得られたことから、以降の GIS データ解析は、採水井戸から半径 500 m を対象とした。

次に、集計範囲内にある堆肥置き場の周囲を『範囲 M』として、それ以外の範囲よりも堆肥散布量の多い領域と仮定した。すなわち、『範囲 M』とそれ以

外の範囲を区別して土地利用面積率を算出することで、堆肥による窒素負荷が地下水中の硝酸態窒素濃度に与える影響を表現できると考えた。なお、パドックと建物用地については、堆肥を散布しないと考えると『範囲 M』には含めなかった。硝酸態窒素濃度を従属変数、『範囲 M』及びそれ以外の範囲の土地利用別面積率、『畜舎の屋根面積』を独立変数として、AIC が最小となる独立変数の組合せを選定し、『範囲 M』を考慮した最適重回帰モデルとした。なお、『範囲 M』としては、堆肥置き場から半径 100, 150, 200, 250 及び 300 m の 5 通りの領域を検討し、AIC を基準として重回帰モデルの選定を行った。これにより、『範囲 M』をどの半径で設定すると最も AIC の低い重回帰モデルが得られるかを特定した。

3. 結果と考察

今回の調査では、地下水中の硝酸態窒素濃度は全体 (70 地点) の 41% で環境基準を超過した。採水井戸からの 4 通りの範囲 (半径 100, 300, 500 及び 700 m) について、硝酸態窒素濃度と土地利用別面積率の相関係数を見ると、500 m のときに、水田と露地畑の 2 種類の土地利用で有意な相関となることが示された (図 1)。さらに、これら 4 通りの範囲内で様々な組合せで重回帰分析を行った。そのうち、それぞれの範囲内で AIC が最小となった重回帰モデルの AIC と井戸からの半径の関係を図 2 に示す。いずれのモデルも、井戸からの半径が 500 m 付近で AIC が最小となる傾向があった。その中でも最も AIC が小さかった重回帰モデルの独立変数は、水田面積率、パドック面積率及び『畜舎の屋根面積』であり、水田面積率の偏回帰係数のみ負の値を示した。また、切片の値は 9.7 mg N/L であり、地下水汚染が地域全体に広がっていることが示唆された。

これらのことから、井戸から半径 500 m を集計範囲としたときに、最も、土地利用面積率及び畜産関連施設と地下水中の硝酸態窒素濃度の関係がより密になることが示された。また、図 1 では、露地畑面積率が正の相関 (5% 有意) を示すのに対し、施設畑面積率との相関は見られなかったが、これは露地畑のほうが施設畑よりも降雨による硝酸態窒素の溶脱が生じやすいためと考えられる。

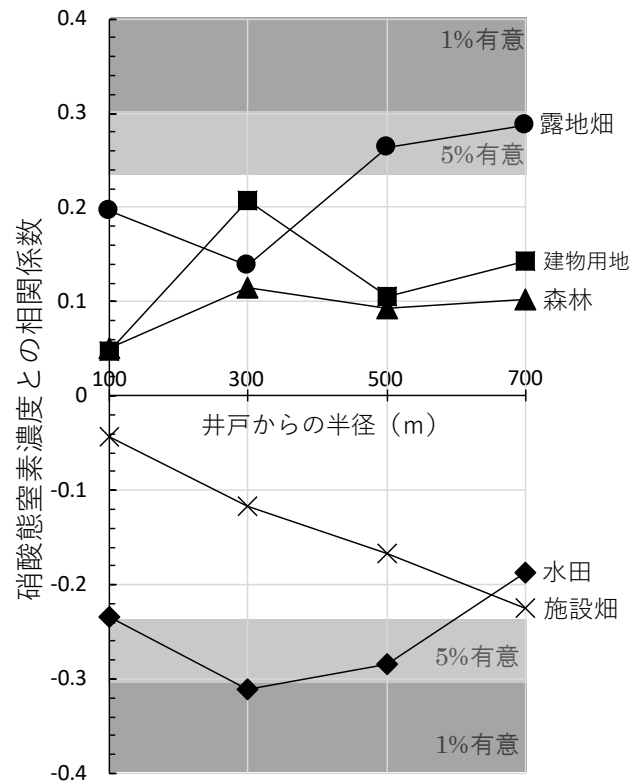


図 1 それぞれの範囲における硝酸態窒素濃度と土地利用別面積率の相関係数

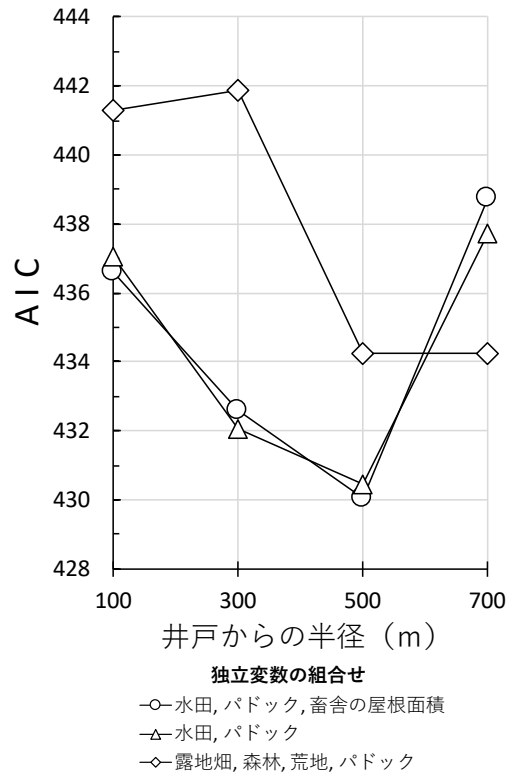
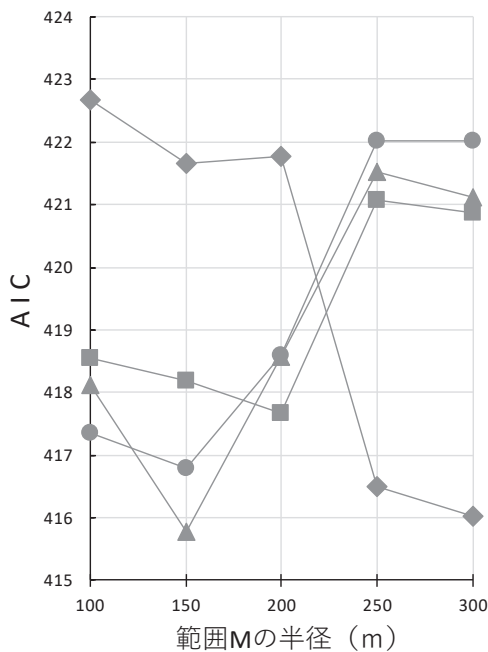


図 2 4 通りの範囲における重回帰モデルの AIC

次に、井戸から半径 500 m の範囲内を対象として、『範囲 M』の半径を 5 通り (100, 150, 200, 250 及び 300 m) 設定して、様々な独立変数の組み合わせで重回帰分析を行った。それぞれの領域内において、最小 AIC が得られた重回帰モデルの AIC と『範囲 M』の半径との関係を図 3 に示す。多くのモデルが半径 150 m のときに AIC が最小値を示す傾向にあったが、中には、半径 300 m のときに最小 AIC を示すモデルもあった。これらの中で最も AIC が小さい重回帰モデルは、半径 150 m のときに得られ、独立変数としては、『範囲 M』内の水田、樹園地及び荒地の各面積率と、それ以外の樹園地及びパドックの各面積率が選択され、『範囲 M』内の水田面積率とそれ以外の樹園地面積率の偏回帰係数が負の値を示した。また、切片の値は 9.1 mg N/L であった。また、全体的に、堆肥を多く散布する領域として『範囲 M』を考慮した場合 (図 3) は、『範囲 M』を考慮せずに重回帰分析を行った場合 (図 2) よりも、AIC が大きく低下することが示された。

水井戸周囲の土地利用及び畜産関連施設の間を、空中写真に基づく GIS データを用いて解析した結果、地下水中の硝酸態窒素濃度の地域内分布は、採水井戸から半径 500 m の範囲内の土地利用及び畜産関連施設の影響を受けていること、堆肥置き場から半径 150 m の領域内では、他の領域よりも多くの窒素負荷が生じていることが示唆された。AIC を基準として選定された多くの重回帰モデルの切片は、9 mg N/L 以上であり、土地利用にかかわらず硝酸態窒素による地下水汚染が地域全体に広がっていることが示唆された。一方、水田は硝酸態窒素濃度に対して負の効果を持っており、水田からの地下浸透水は、汚染軽減に役立っていると考えられる。以上より、土地利用別面積率だけでなく、畜産活動に関する複数の指標を用いた GIS データ解析により、地下水硝酸態窒素濃度に影響する空間的範囲とその主な要因が示され、具体的な地下水汚染発生及び軽減の特徴を把握することが可能となった。



独立変数の組合せ (■ : 『範囲 M』内 ____ : 『範囲 M』外)

- 水田, 露地畑, 樹園地, 荒地, 樹園地, パドック
- ▲ 水田, 樹園地, 荒地, 樹園地, パドック
- 水田, 露地畑, 樹園地, 樹園地, パドック
- ◆ 露地畑, 樹園地, 荒地, 露地畑, 施設畑, 樹園地, パドック

図 3 『範囲 M』の半径の違いによる重回帰モデルの AIC の変化

4. 結論

銚田地域における地下水中の硝酸態窒素濃度と採

全球湖沼流域気候 Web アプリケーション:CGLB で どこまで霞ヶ浦の情報を取得できるか

How much information about Lake Kasumigaura can we obtain using a Web application of Climates of Global Lake Basins: CGLB?

仲江川 敏之¹

¹気象研究所

キーワード: Climates of global Lake Basins, 全世界, 湖沼流域, 気候, データベース

抄録

霞ヶ浦は、日本の湖沼のうち 2 番目に広い水面を持ち、水資源、漁業、観光など多目的に用いられており、日本人には、馴染みの深い湖沼の一つである。日本語を解さない人が、霞ヶ浦を科学的側面から調べたい時に利用価値の高い情報となるのは、全世界をカバーする湖沼データベースである。本稿では、そうした湖沼データベースアプリケーションの一つである Climates of Global Lake Basins (CGLB)で、霞ヶ浦の情報がどの程度まで取得可能かを調べた結果を報告する。霞ヶ浦の水文学的湖沼情報は、水面積、流域面積、湖岸長、平均水深、最大水深などが得られる他、気象庁による月平均気温・降水気候値、人工衛星観測による水位変動などが容易に得られた。また、オンデマンドで、地上気象の値を、1 点での時間変化折れ線グラフまたは領域の分布図として描画することができる。

1. はじめに

霞ヶ浦は、日本の湖沼のうちで2番目に広い水面を持ち、水資源、漁業、観光など多目的に利用されている。流域面積は、2156.7km² で、河川流域で比較すると、鹿児島県に源流を持ち、宮崎県宮崎市を通過して日向灘に注ぐ大淀川に次いで、第 30 位相当である。霞ヶ浦を水源とする自治体は、茨城県 (37.23m³/s)、千葉県 (4.19m³/s)、東京都 (1.50m³/s) の 3 都県で、合計 42.92m³/s となっている。また、流域の殆どが平地で、多くが農業利用されているため、里山環境でみられる生態系が発達している。

霞ヶ浦の詳細な情報は、インターネットが発達した現在、容易に取得することができる。主立った Web サイトとして、以下のサイトが挙げられる。

- かすみがうら*ネット
- 国土交通省関東地方整備局霞ヶ浦河川事務所
- 独立行政法人水資源機構
 - ✓ 利根川下流総合管理所 霞ヶ浦開発
 - ✓ 霞ヶ浦用水管理所
- 茨城県霞ヶ浦環境科学センター

これらのサイトから、情報を収集し、分析して、例えば、学校教育や自由研究、市民活動や行政機関の文書を

作成する際などに、大いに役立つことが考えられる。

これらの Web サイトは、日本人向けで、日本語での情報提供が殆どを占める。Google によるキーワード検索では、「霞ヶ浦」のヒット件数が、360 万件であるのに対して、「Kasumigaura」は 30.5 万件(「Kasumiga-ura」は 1650 件)と 1/10 程度で、観光旅行者向けの Web サイトが上位を占める。日本語を解さない人が、霞ヶ浦を科学的側面から調べたい時、最初にアクセスするのは、国際湖沼委員会が提供する World Lake DataBase (WLDB)^[1]などの世界を対象とした湖沼データベース^[2]であろう。本研究では、そうしたデータベースの一つである全球湖沼流域気候を提供する Web アプリケーション(Climates of Global Lake basins; CGLB)^[3]を利用して、どこまで、霞ヶ浦の情報を取得できるかについて、調査を行った。

2. CGLB

CGLB^[3]は、全世界の湖沼を対象にしたデータベースである。最初の頭文字 C(limate)が示す通り、気候情報が他のデータベースに比べて充実していることが特徴である。湖沼の情報は、水文学的視点情報は HydroLAKES^[4]から得ている。CGLB に収録されている湖沼数は、HydroLAKES に収録されている湖沼で、100 万以上を数える。

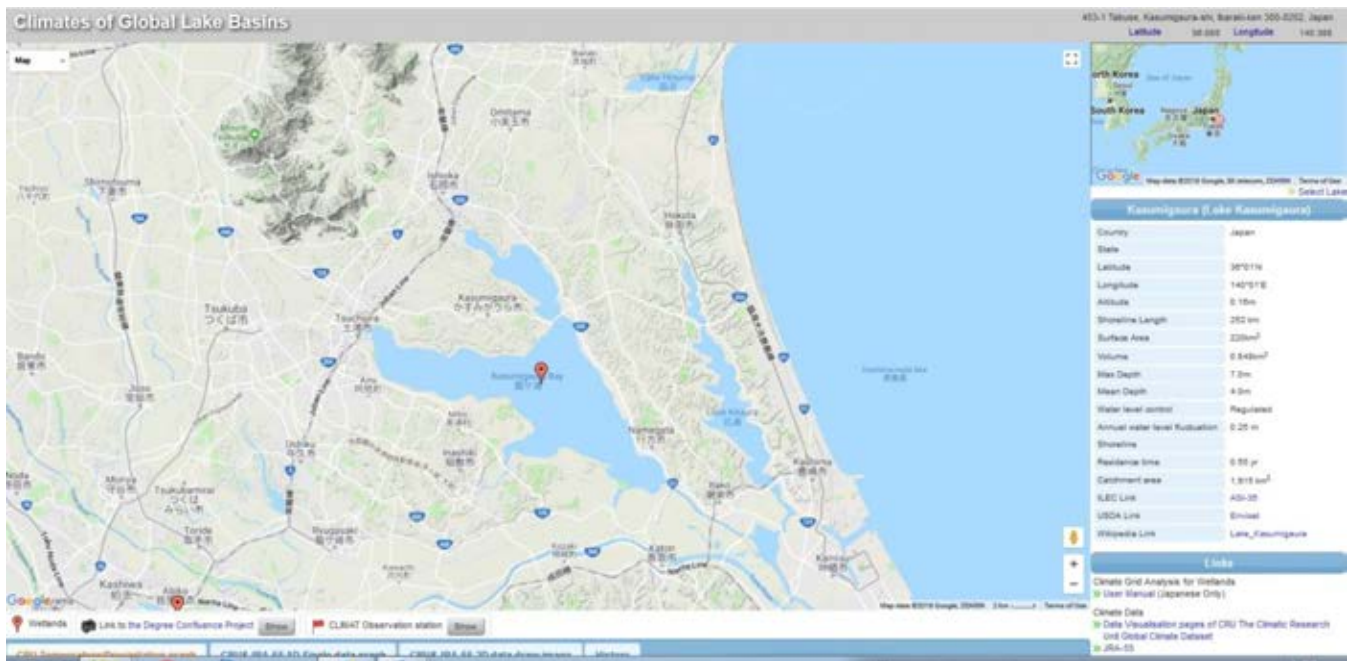


図1. 霞ヶ浦をCGLBで表示した場合のスクリーンショット (<http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/CGLB/>)

Fig.1 Screenshot of CGLB for Lake Kasumigaura.

気候の情報については、ユーザーが興味のある湖沼付近の気温、降水量などの観測値を、1点の時系列、または領域の分布の時系列として、オンデマンドで描画する機能がある。

その他の情報については、外部サイトへのリンクとして提供しており、人工衛星観測による水位情報は米国農業省のサイトへの、湖沼の水質、生態系などの情報は、WLDBのサイトから取得可能である。また、Wikipediaへのサイトへもリンクが張られている。

これらの情報は、ある特定の湖沼の情報を収集したのではなく、全世界の情報を収集したものである。以下では、これらの情報のうちに、どれだけ霞ヶ浦に関して、情報が存在するかを中心にして調査する。また、全世界の情報という特徴を活用して、霞ヶ浦の特徴付けを行う。

3. 結果と考察

図1に、CGLBで霞ヶ浦を表示したスクリーンショットを示す。右側にあるリスト表示ボタンをクリックし、リストから霞ヶ浦を選択すると、Google Maps上に、霞ヶ浦を中心とした範囲が表示される。リスト表示ボタンの下には、霞ヶ浦の水文学的情報(面積、流域面積、湖岸長、平均水深、最大水深など)が表示される。Google Maps上には、各国の気象・水文局が観測した情報を、世界気象機関(WMO)が収集し、全世界に向けて配信しているCLIMAT情報^[5]の登録地点を表示することができ、その



図2. 気象庁のClimatViewによる最近傍観測点(立野)の月平均気温と降水量の気候値

<http://ds.data.jma.go.jp/gmd/tcc/tcc/products/climate/climatview/>

Fig. 2 Screenshot of climatological monthly mean surface air temperature and precipitation at Tateno on ClimatView developed by Japan Meteorological Agency

マーカーをクリックすると、気象庁が提供する ClimateView を通して、その地点の月平均気温と降水量の気候値を見ることができ、値も表にまとめられている(図2;観測地点は立野)。図1の範囲無いには、3つの登録観測地点が表示されるが、実際にデータが存在するのは立野(つくば市)のみである。このような、登録はされているが、データがオンラインで描画されない観測地点は、全世界をカバーするデータには数多く存在している。容易には取得できないものの、観測地点が存在するという情報は、オフラインであれば入手可能である可能性を示唆しており、意味のある情報である。

CGLB のオンデマンド機能で、描画した月平均降水気候値の分布図を図3に示す。Google Maps 上で表示されている範囲を描くようになっていいる。全世界のデータのため、解像度が 0.5°(50km 程度)と粗く、表示範囲では、詳細な地域分布は表示できないものの、それでも地域差、季節変化は明瞭に見ることができる。降水等、合わせて9種類の気象情報を描画することができる。

霞ヶ浦の場合、CBLB から、米国農業省の人工衛星による水位観測サイトへリンクが張られており(図4)、水位変動も調査することができる。また、情報量は少ないものの、英語版 Wikipedia へのリンクも張られている。

4. まとめ

本稿では、全世界を対象とした湖沼データベースアプリケーション Climates of Global Lake Basins(CGLB)を利用して、霞ヶ浦の情報をどこまで取得できるかについて調査した。多様な情報を取得できた一方で、深く掘り下げた調査には、まだ必要な情報が多数ある。今後、よりCGLB を充実させる上で、何が必要か、より多くの人と対話を通して、検討を重ねたい。

謝辞

本稿は、学術振興会科研費特別推進研究 16H06291 の支援の下、行われました。

引用文献

- [1] International Lake Environmental Committee: World Lake Database, 1999. <http://wldb.ilec.or.jp>. Last access April 11, 2018.
- [2] Nakaegawa T: Comparison of water-related land cover types in six 1-km global land cover datasets, *Journal of Hydrometeorology*, Vol. 13, pp. 649–664, 2012. DOI: 10.1175/JHM-D-10-05036.1.
- [3] Nakaegawa T, S. Horiuchi, and H. Kim: Development of a web application for examining climate data of global lake basins: CGLB, Vol. 9, pp.125-132, 2015. DOI: 10.3178/

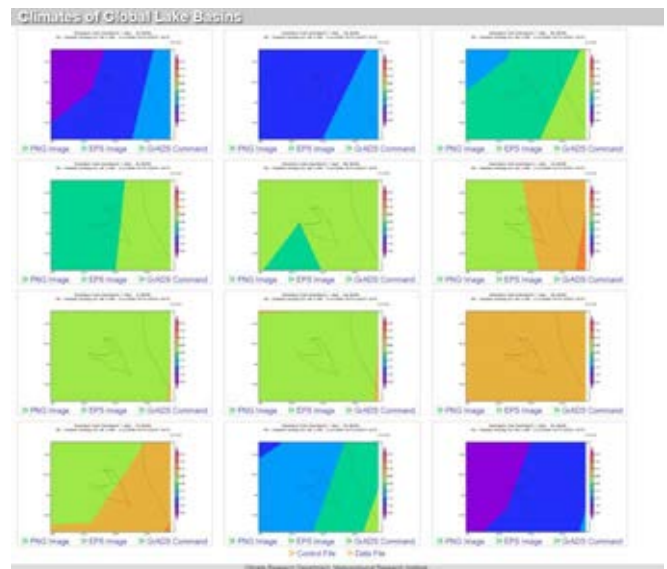


図3. CGLB による月平均気候値の霞ヶ浦周辺分布

<http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/CGLB/#>

Fig. 3 Screenshot of height variations of Lake Kasumigaura observed from ENVISAT.



図4. 米国農業省人工衛星が提供する ENVISAT による霞ヶ浦の水位変

https://ipad.fas.usda.gov/cropeexplorer/global_reservoir/

Fig. 4 Screenshot of height variations of Lake Kasumigaura observed from ENVISAT.

- hrl.9.125
- [4] Messenger M.L., Lehner B., Grill G., Nedeva I., Schmitt O: Estimating the volume and age of water stored in global lakes using a geo-statistical approach. *Nature Communications*: pp.13603. 2016. DOI: 10.1038/ncomms13603
- [5] World Meteorological Organization: Handbook on CLIMAT and CLIMAT TEMP Reporting, WMO Technical Document, No.1188, pp.115, 2009.

霞ヶ浦の環境に関する取り組みへの各種地理空間情報の整備・提供

根本 正美¹, 沼田 佳典¹, 稲澤 保行¹, 四野宮 良周¹, 林 諒祐¹

¹国土交通省国土地理院応用地理部地理調査課

キーワード: 湖沼データ, 数値データ, 湖沼画像データ

抄録

国土交通省国土地理院は、湖沼データ「霞ヶ浦」をはじめとして霞ヶ浦に関連する各種地理空間情報を提供しています。これらの地理空間情報を活用することで、国、自治体を初めとする関係機関により進められている霞ヶ浦の環境保全、再生や自然共生などの取り組みがより詳細かつ定量的あるいは視覚的に行うことを可能にし、有用な地理空間情報を提供する立場からの貢献ができるものと考えています。

1. はじめに

霞ヶ浦の環境保全、再生や自然共生などの取り組みには、霞ヶ浦の湖底地形や霞ヶ浦周辺の変遷や景観が分かる各種地理空間情報は大変有用なものであると考えています。国土交通省国土地理院が整備・提供する霞ヶ浦に関連した各種地理空間情報はこれに相応しく、ウェブやGISの最新技術を駆使し、霞ヶ浦をいろいろな視点から詳細かつ定量的あるいは視覚的に見ることができます。

2. 方法

国土交通省国土地理院が整備・提供する霞ヶ浦関連の各種地理空間情報には、以下のものがあります。

○湖沼データ

湖沼データ「霞ヶ浦」は湖沼調査の結果を取りまとめた1万分1湖沼図「霞ヶ浦」を数値化したもので、「数値データ」と「湖沼画像データ」から構成されます。

湖沼データは、以下に示す国土地理院のウェブサイト湖沼データの無償ダウンロード提供を行っています。

<http://www.gsi.go.jp/kankyochiri/lakedatalist.html>

また、以下に示すウェブ地図の「地理院地図」でも、「地理院タイル(湖沼データ)」として湖沼データを閲覧できます。

<https://maps.gsi.go.jp/#5/36.104611/140.084556/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j0h0k0l0u0t0z0r0s0f1>

○2万5千分1地形図

2万5千分1地形図は繰り返し修正・改測されてきま

した。修正・改測された各時期の2万5千分1地形図は国土地理院のウェブサイトの「地図・空中写真閲覧サービス」上で閲覧できます。

<http://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1>

○地理院地図のベースマップ(標準地図)

既述の「地理院地図」上で「ベースマップ(標準地図)」を表示すれば、最も基本となる地図である「電子地形図(タイル)」を閲覧できます。

○空中写真

空中写真もこれまでに繰り返し撮影されています。測量用航空機から撮影された各撮影時期の空中写真は数値化され、地理院地図や地図・空中写真閲覧サービスで閲覧できます。

○正射画像・衛星画像

地理院地図では、空中写真を正射変換した正射画像や広域の衛星画像も閲覧できます。

3. 結果

○湖沼データ(数値データ)

数値データは等深線等を表し、霞ヶ浦の湖底地形を詳細、立体的に把握できます。また、水生植物や底質からの霞ヶ浦の性質の把握にも役立ちます。

○湖沼データ(湖沼画像データ)

湖沼画像データは1万分1の地図形式で、多色で表示されています。湖沼部は深さに応じて段彩表示され、湖岸の陸地は最新の電子地形図(タイル)で表しています。段彩表示を行ったことで、非常に視覚的で見やすいものになっています。(図1)



図1 湖沼画像データ「霞ヶ浦」

○2万5千分1地形図・空中写真

土浦市付近の霞ヶ浦の湖岸域では昭和40年代以降に埋め立て、整地や宅地化などの大きな人工改変があったことが分かりました。そこで、昭和40年以降の2万5千分1地形図や空中写真をそれぞれ並べて見たところ、湖岸域におけるこれらの変遷を非常に明確に把握できました。湖岸域の変遷は湖沼環境の変化を見る時に重要です。(図3及び図4)

○電子地形図(タイル)・正射画像・衛星画像

霞ヶ浦周辺を含めた広域的な影響や景観の把握も重要ですが、これには電子地形図(タイル)、航空機で撮影した空中写真を歪みのない画像に変換して正しい位置情報を付与した正射画像や衛星画像の活用が効果的です。地理院地図上で3D表示することで、いっそう臨場感が得られます。(図2)



図2 土浦市付近の正射画像の3D表示

4. 考察

上述の各種地理空間情報はウェブやGISで扱え、定量的、視覚的あるいは階層的に扱うのに便利です。

湖沼データで見ると、霞ヶ浦は最深部でも10m程度でそれほど深くはありません。また、浚渫などで凹地状に窪んだところがありますが、全体的に平坦な湖底地形になっていることが分かります。湖沼データを活用すれば更に詳細に解析でき、土砂流入・堆積のシミュレーションやアオコなどの発生箇所の解析などにも有効です。(図1)

更に地域一帯の変遷を見ることが湖沼環境の変化を見る上で重要であり、時系列の2万5千分1地形図や空中写真が非常に有効であることが分かりました。

修正・改測時期の異なる複数の2万5千分1地形図や撮影時期の異なる複数の空中写真を使って湖岸域の変遷を見たところ、土浦市付近では土浦駅北東の湖北地区や駅東側の港町地区において昭和40年代から60年代にかけて埋め立て、整地や宅地化などがあったことが分かりました。このことから、この地域では既に昭和年代に埋め立てなどの大規模改変があったことが分かりました。(図3及び図4)

このような変遷とこの付近の霞ヶ浦の水質や植生の変化の相関を考察する際、空間、時間の両軸でこのような地理空間情報を参照するは非常に有効的です。

5. 結論

湖沼データ「霞ヶ浦」の他、2万5千分1地形図、空中写真などの各種地理空間情報が、霞ヶ浦の環境保全、再生や自然共生などの取り組みに対して効果的なものと考えています。国、自治体を初めとする関係機関が進める種々の取り組みに対して貢献できれば幸いです。

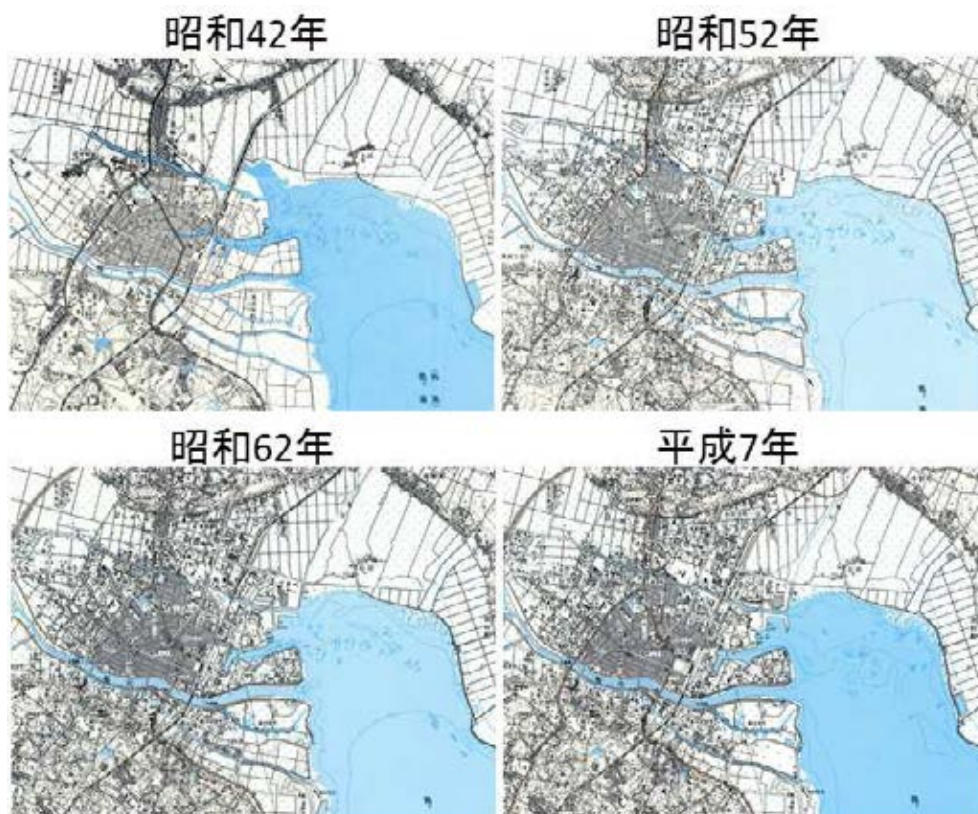


図3 2万5千分1地形図「土浦」

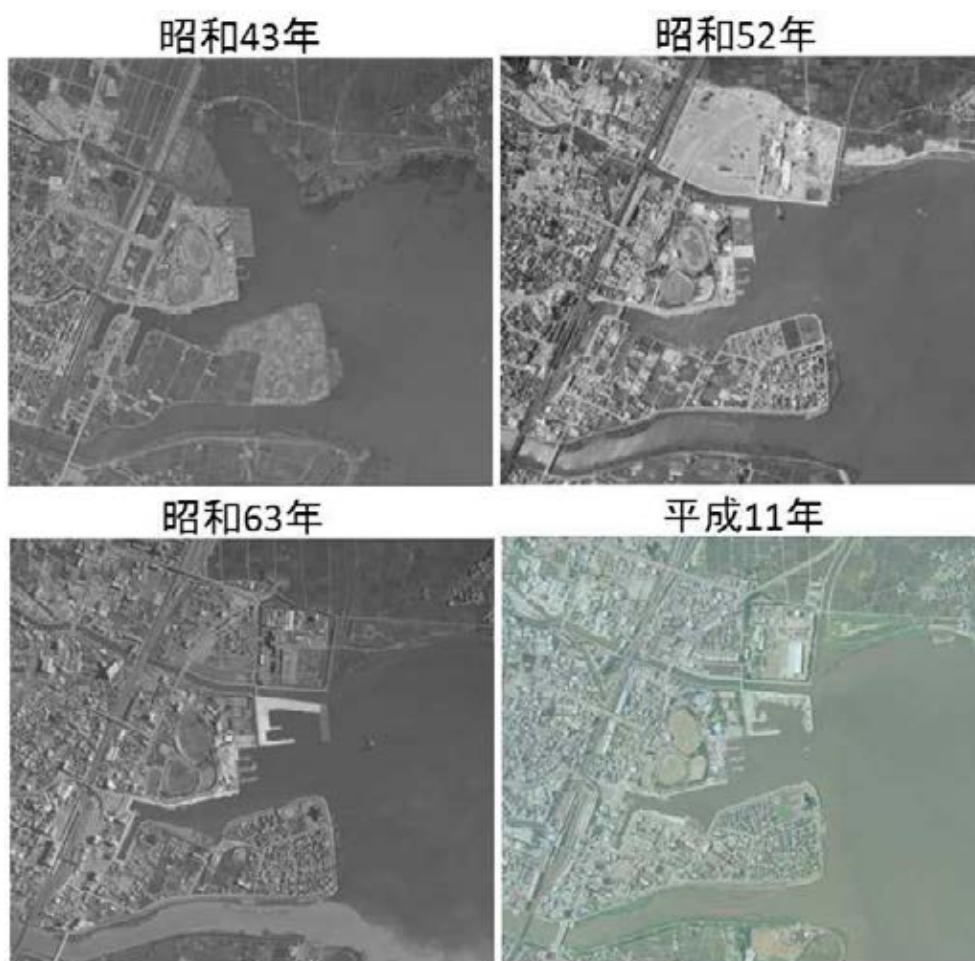


図4 土浦市付近の空中写真