

日本と世界の湖沼における水深別の湖沼数割合 及び浅い湖沼の利水目的の比較

綿貫 翔^{1*}・山田 正²

¹中央大学大学院理工学研究科都市環境学専攻（〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27）

²中央大学理工学部都市環境学科（〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27）

* E-mail: akira-xiang@civil.chuo-u.ac.jp

本論文では、湖沼の温度躍層ができる深度及び平均水深、最大水深を用いて、湖沼の浅深の度合いを分類した。さらに、平均水深別にも湖沼を分類した。そして、それらの割合も求め、日本と世界の湖沼数割合を比較した。その結果、天然湖の浅い湖沼は日本と世界に違いがあまりないことがわかった。

また、日本と世界における浅い湖沼の利水目的の比較を行い、日本が多目的に用いられているのに対し、世界では多くが単一目的で使われていることがわかった。

Key Words : lakes, shallow lake, water utilization, water depth

1. はじめに

地球表面上に液体状で存在する淡水の約90%以上が湖沼の水である。湖沼の存在は、これまで、周辺の生態系や気候、人間活動などに大きく影響を与えてきた。しかし、近年、気候変動や酸性雨の自然的な要因や、過度な取水や栄養塩の増加など人工的な要因により、湖沼環境は急激に変化している。今後も、湖沼の恩恵を受けるためには、世界湖沼ビジョン¹⁾で指摘されているように、持続可能な湖沼管理や保全活動が急務である。

これまで、著者らは千葉県にある印旛沼や手賀沼を中心に、平均水深が2 mない浅い湖沼を研究してきた²⁾³⁾。しかし、世界の湖沼研究に目を向けると、昔から研究対象とされてきた湖沼は少なくとも平均水深が10 m以上ある湖沼がほとんどであった。そこで、本研究では、印旛沼のように平均水深が浅い湖沼は世界的に珍しいのか調査し、これまでの研究対象が深い湖沼が中心であった理由を考察することを目的としている。

2. 使用データ

使用するデータは国際湖沼環境委員会（ILEC）

が公開している湖沼情報⁴⁾である。具体的には、平均水深、最大水深、湖沼容量である。これら3つのデータが揃っている湖沼の数は全てで381湖であった。その内、日本の湖沼は、28湖であった。

湖沼面積は、湖沼容量から平均水深を割った値とした。

3. 湖沼における浅深の定義

湖沼における水深は、その浅深度合いを示す明確な定義は未だなく、これまで湖沼を分類するための指標の一つとして、使われてきた。湖沼の分類の仕方は、理化学的性質や物理学的性質など、着目するものによって、変わってくる。その中で、水温成層に着目した分類の仕方は、近年においても浅深の度合いを示す指標として用いられている。

その歴史を吉村(1976)を参考に見ると⁵⁾、Geistbeck(1885)が初めて、水温に着目し、水の密度が最も高くなる4℃を基準に、年間を通して、4℃以上の場合は温かい湖(Warme Seen)、4℃以下の場合は冷たい湖(Kalte Seen)として、アルプスの湖沼を対象に分類した⁶⁾。その後、Forel(1889, 1892)やWhipple(1898)も同様に4℃に着目し、夏季の深層水温における年変化から、Geistbeckよ

りも細かく分類したことが吉村（1976）に書かれている．これらは，単純に水温に着目し，分類しただけであったが，Ule（1898）は，水温成層に初めて重きをおいて，北ドイツの湖沼を『平らで浅い湖』，『一部分が浅い湖』，『深窪の湖』に分類した⁷⁾．

日本においては，Yoshimura（1936）が世界で初めて，湖盆形態や風など 11 項目から同一基準で世界中の湖沼を分類した⁸⁾．これらは，夏季における水温に着目している点で共通している．その後，日本で初めて水温に関する書籍を執筆した新井（1964）は，水表面近くに形成される変水層の深度と風の吹走距離に関係性を経験的に見だし，変水層の深度を吹走距離の関数とした⁹⁾．（式（1））

$$D = 6L^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

ここで， D は温度躍層が形成される水深[m]であり， L は吹走距離[km]である．ただし，吹走距離は厳密な値ではなく，湖沼を正方形と仮定し，面積の根号値としている．

さらに，池上（1986）も同様に，深水層の深度を吹走距離の関数として定義した¹⁰⁾．（式（2））

$$D = 12L^{\frac{1}{3}} \quad (2)$$

そして，田瀬ら（1987）は新井（1964）と池上（1986）の結果を組み合わせ，平均水深と最大水深の中間値を用いて，湖沼を『非常に浅い湖』，『浅い湖』，『深い湖』，『非常に深い湖』の 4 つに分類した¹¹⁾．論文では，分類の仕方が明確に記述されていないため，本論文では，以下のように定義する．平均水深と最大水深の平均値を z とする．

『非常に浅い湖』； ($z < \text{式（1）}$)

z が式（1）の値よりも小さい場合

『浅い湖』； ($\text{式（1）} < z < (\text{式（1）} + \text{式（2）})/2$)

z が式（1）の値よりも大きく，式（1）と式（2）の平均値よりも小さい場合

『深い湖』； ($(\text{式（1）} + \text{式（2）})/2 < z < \text{式（2）}$)

z が式（1）と式（2）の平均値よりも大きく，式（2）の値よりも小さい場合

『非常に深い湖』； ($\text{式（2）} < z$)

z が式（2）よりも大きい場合

と定義し，これに従い，分類した．その結果を表-1 に示す．

結果は，非常に浅い湖と非常に深い湖の 2 つで全体の 7 割以上となっている．

非常に浅い湖の割合は日本よりも世界の方が高く，非常に深い湖の割合は世界よりも日本の方が高かった．これは，日本の湖沼は湖沼面積が世界の湖沼と比べて小さく，平均水深と最大水深に大きな差はな

表-1 水温躍層の深度及び平均水深，最大水深から分類した湖沼の数とその割合

分類	非常に浅い湖	浅い湖	深い湖	非常に深い湖	計
日本 (数 (%))	8 (28.6)	5 (17.9)	0 (0)	15 (53.6)	28 (100)
世界 (数 (%))	130 (34.1)	69 (18.1)	38 (9.9)	144 (37.8)	381 (100)

表-2 湖沼容量が1000万m³以上の湖沼を対象とした平均水深別の湖沼数とその割合

平均水深	<5	5～10	10～20	20～30	30～40	40～50	50≦	計
日本 (数 (%))	天然湖 7 (26.9)	7 (26.9)	4 (15.4)	5 (19.2)	2 (7.7)	1 (19.5)	0 (0)	26 (100)
	人工湖 0 (0)	16 (5.2)	112 (36.5)	114 (37.1)	50 (16.3)	15 (4.9)	0 (0)	307 (100)
	計 7 (2.1)	23 (6.9)	116 (34.8)	119 (35.7)	52 (15.6)	16 (4.8)	0 (0)	333 (100)
世界 (数 (%))	75 (20.4)	84 (22.9)	64 (17.4)	34 (9.3)	21 (5.7)	14 (3.8)	75 (20.4)	367 (100)

いたため，非常に深い湖の割合が増えやすい．これに対し，世界では湖沼面積が大きく，平均水深と最大水深に大きな差があるため，浅い湖の割合が増えやすいと考えられる．

3. 水深別湖沼数の割合

環境省中央環境審議会 陸域環境基準専門委員会は湖沼容量が 1000 万 m³ 以上の湖沼を対象に平均水深別に湖沼进行分类している¹²⁾．これと同様な方法で世界湖沼进行分类した結果を表-2 に示す．湖沼容量が 1000 万 m³ 未満の湖沼があったため，前章よりも対象数は減っている．

世界全体の湖沼数割合は，日本の天然湖の湖沼数割合と比較的似ている．これは，世界と日本の湖沼の成り立ちが同じであるとする，湖沼データベースにある湖沼の多くが天然湖がほとんどであるため，類似したと考えられる．

平均水深 5 m 未満であった湖沼は全て，前章における非常に浅い湖に分類されていた．平均水深が 5 m 以上 10 m 未満の湖沼は，前章における非常に浅い湖 (vs)，浅い湖 (s)，深い湖 (d)，非常に深い湖 (vd) に分類され，{vs, v, d, vd}={46, 34, 3, 1}であった．その内，非常に深い湖に分類された湖沼は Canada の Lake Sakami（平均水深；8 m，最大水深；110 m，容量；4.28 km³）であった．同様に，平均水深が 10 m 以上 20 m 未満の場合，前章の分類では{vs, v, d, vd}={5, 21, 20, 18}であり，浅い湖から非常に深い湖の割合は大差ない．平均水

深が 20 m 以上 30 m 未満の場合, $\{vs, v, d, vd\}=\{0, 3, 9, 22\}$ であり, 非常に深い湖の割合が増えた. 平均水深が 30 m 以上 40 m 未満の場合, $\{vs, v, d, vd\}=\{0, 0, 5, 16\}$ であり, 深い湖もしくは非常に深い湖に分類される. 平均水深が 40 m 以上 50 m 未満の場合, $\{vs, v, d, vd\}=\{0, 1, 1, 12\}$ であり, 浅い湖に分類されたのは, Kenya の Lake Vicoria (平均水深; 40 m, 最大水深; 84 m, 容量; 2750 km³) であった. 深い湖に分類されたのは, Armenia の Lake Sevan (平均水深; 41 m, 最大水深; 86 m, 容量; 58.5 km³) であった. Lake Victoria と Lake Sevan の平均水深と最大水深に大きな違いはないが, 湖沼容量が 2 桁異なる. そのため, 式 (2) の結果も大きく異なり, Lake Victoria は湖沼面積が大きくなるため, 式 (2) の値が平均水深と最大水深の平均値よりも大きくなり, 浅い湖と分類された. 一方で, Lake Sevan は湖沼面積が小さいため, 式 (2) の結果が平均水深と最大水深の平均値よりも小さくなり, 深い湖に分類された. 平均水深が 50 m 以上の湖は全て非常に深い湖に分類された.

4. 浅い湖沼の利用のされ方

前章で, 水深別の湖沼数割合は日本の天然湖と世界の湖沼と類似していることがわかった.

ここで, 水深 5 m 未満の湖沼の利水目的を調査した. 多くの湖沼が, その湖沼に関する情報が公開されていない, もしくは, その国の母国語のみの資料しか存在していなかったため, 平均水深が 5 m 未満と分類された 75 の湖沼中, 調べられたのは, 38 湖沼であった. その中で, 日本の湖沼は 7 湖沼あり, 全てが多目的に利用されていることがわかった. 特に, 千葉県印旛沼は, 4 つの利水目的 (上水, 工業, 農業, 内水面漁業) があり, 最多であった. さらに, 治水目的にも使われている.

しかし, 世界の湖沼は, 31 湖沼の 9 割以上が, 保護される対象であった. 具体的には, 世界遺産やラムサール条約の一部であった.

5. まとめ

本論文では, 国際湖沼環境委員会が公表している World Lake Database にある平均水深・最大水深・貯水容量を用いて, 温度躍層が形成される深さを示す経験式及び平均水深の 2 種類の方法で分類し, 日本と世界の湖沼を比較した. さらに, 浅い湖沼の利水

目的も比較した. その得られた知見を以下に示す.

- 1) 水温躍層が形成される深度から湖沼を分類すると, 日本では深い湖沼の割合が多く, 世界では浅い湖の割合が多いことがわかった.
- 2) 日本の天然湖と世界の湖沼を水深別で比較したとき, 20 m 未満の浅い湖沼の割合は, 大きな違いはなかった.
- 3) 浅い湖の利水目的は, 日本と世界の湖沼で大きな違いがあり, 日本では人間活動に密接だが, 世界では保全される対象あるのがほとんどであった.

参考文献

- 1) 世界湖沼ビジョン委員会, 世界湖沼ビジョン, 世界湖沼環境委員会, p.59, 2003.
- 2) 綿貫翔, 山田正, 吉見和紘, 水深が浅い閉鎖性水域における日平均水温の推定~印旛沼と江戸城外堀を例にして~, 土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, 42, 7, 2015.
- 3) 綿貫翔, 山田正, 1 高度の気象データから計算した顕熱及び潜熱輸送量を用いた湖沼における日平均水温の推定~印旛沼を例にして~, 水文水資源学会研究発表会要旨集, 29, 2016.
- 4) 国際湖沼環境委員会, World Lake Database, (<http://wldb.ilec.or.jp>; 閲覧日 2015 年 3 月 10 日).
- 5) 吉村信吉, 湖沼学 (増補版), 生産技術センター, p.439, 1976.
- 6) Alois Geistbeck, Study of the lakes of the Bavarian Alps, Library of the University of Augsburg, Bavaria, p.49, 1885.
- 7) Ule. W, Beitrag zur physikalischen Erforschung der baltischen Seen, Forsch, deutschen Landes-u, Volkskunde, Vol.11, pp.25-72, 1898.
- 8) Yoshimura, A contribution to the knowledges of deep water temperatures of Japan lakes. I, II, Jap Jour. Astr. & Geophys., Vol.13, pp.61-120, pp.195-200, Vol.14, pp.57-83.
- 9) 新井正, 湖沼の熱的性質と湖沼のスケールとの関係, 地理評, Vol.37, pp.131-137, 1964.
- 10) 池上智祥, 湖水の水温形成に関する研究-竜ヶ崎市・中沼を例として-, 筑波大学環境科学研究科修士論文, p.67, 1986.
- 11) 田瀬則雄・池上智祥・古藤田一雄, 湖水の熱的構造と湖盆形態-中沼は深い湖沼か?- , 筑波の環境研究, 10, 107-111, 1987.
- 12) 環境省中央環境審議会水環境部会 陸域環境基準専門委員会, (第 5 回) 議事次第 資料 4-1, pp.4-5, 2005.