

B-18 琵琶湖およびカナダ・オカナガン湖への栄養塩流入負荷量に関する比較研究

立命館大学大学院 ○亀田綾

立命館大学理工学部 市木敦之 山田淳

University of British Columbia Ken J. Hall Hans E. Schreier

1. はじめに

近年多くの湖沼で富栄養化による植物プランクトンの異常増殖が生じており、その主要因が集水域からの流入栄養塩類であることはよく知られている。そのため、窒素やリンの流入負荷量の予測や、異なる流域間における汚濁物流出特性の比較など¹⁾が行われている。しかし、多くの場合、得られた知見は個々の事例に特化したものとなっており、流域特性の異なる他の湖沼に適用可能な汎用性ある議論とはなっていない。本報告では、流域特性が汚濁物流出に及ぼす影響を把握することを目的として、流域特性に相違の見られる2湖沼について、栄養塩流入負荷量の推定計算と結果の比較を行った。

2. 対象流域の概要

研究対象としたのは日本の琵琶湖およびカナダのオカナガン湖である (Fig. 1)。琵琶湖については、日本最大の湖沼としてこれまで多くの研究が行われてきている。比較の対象としたオカナガン湖は、カナダ・ブリティッシュコロンビア州の南東に位置しており、更新世に形成された氷河湖である。両流域における主な流域特性を整理して Table 1 に示す。双方で貯水量に差がないのに対して、表面積は琵琶湖がオカナガン湖の 1.9 倍、逆に集水面積はオカナガン湖が琵琶湖の 1.8 倍となっている。琵琶湖流域の人口密度は非常に高く、都市化の進行が著しい。また、稲作が盛んな琵琶湖流域とは異なり、オカナガン湖流域では、非常に乾燥した気候のため、乾燥に強い果実の栽培が盛んである。

3. 解析方法

琵琶湖およびオカナガン湖への窒素とリンの年間流入負荷量を算定した。対象年は琵琶湖については 1995 年、オカナガン湖については 1996 年とし、Wastewater (Sewage Treatment Plants, Septic Tanks, Others)、Storm Sewers、Agriculture、Tributaries といった発生源や流出経路を考慮した流入源区分で算定した。

3.1 琵琶湖

ここでは「琵琶湖の総合的な保全のための計画調査報告書」²⁾ (滋賀県水政課) における流入源別の日流入負荷量を年負荷量に換算して用いた。

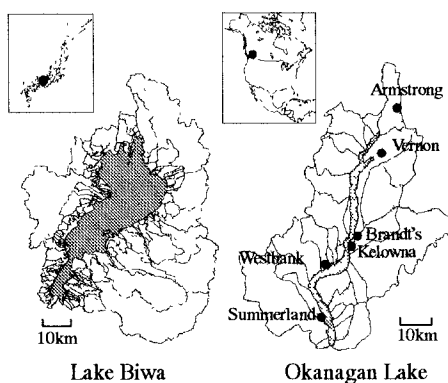


Fig. 1. Location of study catchments

Table 1. Outline of study catchments

Index	Lake Biwa	Okanagan Lake
Surface area (km ²)	670	348
Impoundment of lake (10 ⁹ m ³)	27.5	26.2
Catchment area (km ²)	3174	5650
Annual rainfall (mm/yr) approx.	1700	600
Population (10 ³)	1281	213
Population density (no/km ²)	403.6	37.7
Ratio of sewered population (%)	30.4	65.9*
Land-use (%)		
Urban	11.9	5.9
Agriculture	23.8	13.9
Crops	1.0	2.8
Paddy	22.9	0.0
Forest	64.3	80.2
Livestock (no/km ²)		
Hens and chickens	361.7	16.9
Cattle and calves	2.3	4.9
Pigs	6.1	0.8
Sheep and lambs	-	0.4
Horses and ponies	0.7	0.6

* Ratio of city population with STPs to basin population

3.2 オカナガン湖

流域内の自治体によって実測された水質および流量データ^{3), 4)}を用いて、以下の手順で流入源別の年間流入負荷量を算定した。データの概要を **Table 2** に示す。オカナガン湖流域には 6 つの下水処理場があり、流域の人口増加にともなって合計放流量は漸増している (**Table 3**)。ここでは、1996 年に処理水を湖に直接放流している Kelowna および Westbank 下水処理場を対象とした。各下水処理場における放流量および放流水質データから算定された月別負荷量を合計して、年間負荷量とした。浄化槽からの流入負荷量は、原単位を TN 2.5kg/capita/yr、TP 1.0kg/capita/yr とし、水域への流入率を TN 2.3%、TP 3.5%と仮定して算出した。Storm Sewers からの流入負荷量は、文献³⁾より得た Kelowna における Storm Sewers からの年間流入負荷量を用い、この Kelowna での値を人口比例で割り増すことにより、他の主要都市から Storm Sewers を通じて流入する年間負荷量とした。農地からの流入負荷量は栄養塩収支モデル⁶⁾を用いて、年間の栄養塩収支を推定した。このモデルは、家畜や作物に関する統計データを用いて農地への栄養塩類インプットを算出し、大気への拡散や作物による吸収などのアウトプットを差し引いて収支を求めるものである。得られた結果のうち、剰余分の 20%が水系に入ると仮定して、農地から湖への年間流入負荷量を算定した。Tributaries については、カナダ環境省によるオカナガン湖流入河川での水質と流量に関する実測データを用いて、月ごとの平均負荷量を算定し、年間流入負荷量に換算した。以上の計算については、対象年とする 1996 年のデータがない場合、これに最も近い年のデータを用いた。STPs、Storm Sewers および Tributaries に関しては、生物利用可能な窒素とリン (BAN、BAP) のデータも得られており、形態別に窒素とリンの年間負荷量を算出した (**Table 4**)。こうした流入窒素のうち 61~72%、リンのうち 35~51%が直接プランクトンに取り込まれ得るものである。

4. 結果と考察

琵琶湖およびオカナガン湖における各流入源からの栄養塩流入負荷量を **Table 5** に示す。どの流入源についても、琵琶湖への負荷量がオカナガン湖への値を大きく上回っている。琵琶湖流域での Wastewater や Storm Sewers が大きいのは、流域人口が多く、都市化が進んでいることが影響しているためである。Agriculture では、琵琶湖での農地面積があまり広大でないわりに負荷量が多くなっている。琵琶湖流域にのみ水田があることを考えると、畑や

Table 2. Summary of the Okanagan Data^{3), 4)}

Data	Year	Data frequency
Armstrong	1976, 1986	Annual
Vernon	1976, 1986	Annual
Brandt's	1976, 1986	Annual
Kelowna	1990-1999	Monthly
Westbank	1991-1999	Monthly
Summerland	1999	Annual
Storm Sewers Kelowna	1992, 1995	Annual
Agriculture	1976, 1986, 1996	Annual
Tributaries	1990	Monthly

Table 3. Discharged effluent volume from STPs to Okanagan Lake (10⁶ m³/yr)

STP	1976	1986	1996	1999
Armstrong ¹⁾	0.1	0.8	-	-
Vernon ¹⁾	2.2	0.0	-	-
Brandt's ²⁾	-	0.4	-	-
Kelowna	2.7	5.2	8.4	9.8
Westbank	0.1	0.1	0.7	1.4
Summerland ³⁾	-	-	-	0.4
Total	5.1	6.5	9.2	11.5
Population ⁴⁾ (10 ³)	100	125	190	200

1) Effluents from the Armstrong & the Vernon STPs have been used for irrigation since 1990s

2) The Brandt's STP was integrated to the Kelowna STP in 1990s

3) The Summerland STP started the operation in 1999

4) Population in the city area

Table 4. Nutrient loadings into Okanagan Lake (tonnes/yr)

Source	TN	BAN	BAN/TN (%)	TP	BAP	BAP/TP (%)
STPs	45.3	32.6	72.0	1.8	0.7	38.9
Stormsewers	35.4	21.7	61.3	5.1	1.8	35.3
Tributaries	313.0	219.6	70.2	57.0	28.9	50.7
Total	393.7	273.9	67.8	63.9	31.4	41.6

Table 5. Annual nutrient loadings from individual sources

Source	(tonnes/yr)			
	Lake Biwa		Okanagan Lake	
	TN	TP	TN	TP
STPs	510.6	11.0	55.0	1.7
Wastewater Septic Tanks	782.9	86.1	3.0	1.9
Others	698.2	126.3	-	-
StormSewers	783.4	28.1	35.4	5.1
Agriculture	1249.0	64.3	0.0	33.4
Tributaries	2017.6	58.1	313.0	57.0
Total	6041.8	374.0	406.5	99.1

Others: Rural community sewer, etc.

果樹園よりも水田の方が栄養塩流入への寄与が大きいということになる。Tributaries について比較すると、リンの流入負荷量がほぼ同じなのに対し、窒素の流入負荷量については琵琶湖がオカナガン湖の 6.4 倍となっている。また、Agriculture および Tributaries に注目すると、琵琶湖では窒素の流入負荷量がリンと比べて 19~35 倍と非常に多くなっているのに対して、オカナガン湖では 5.5 倍以下となっている。このことから、琵琶湖流域の土壌はオカナガン湖流域よりも窒素を多く含んでいることが考えられる。さらに、各流入源からの流入負荷量の比率を整理して示すと (Fig. 2)、琵琶湖では主に Wastewater、オカナガン湖では Tributaries の寄与が大きいことがわかる。また、琵琶湖における最大の流入源は、窒素で Tributaries、リンで Wastewater、オカナガン湖では、窒素とリンともに Tributaries となっており、湖ごとの窒素とリンの流入源比率は一致していない。また、各流入源に関して栄養塩負荷量の N/P 比が両流域で異なっており、流域特性の相違が影響していると考えられる。両流域における比負荷量を算出し、発生源別に整理したものを Fig.3 に示す。比負荷量についても、琵琶湖流域から流入する負荷量の方が非常に大きい。両流域で最も値が近いのは、Agriculture におけるリンの比負荷量であるが、それでも琵琶湖における比負荷量がオカナガン湖の値の 1.9 倍となっている。本研究ではこれらの流入負荷量に関して整理した結果を、アプリケーションソフト (Tool Book version 8.0, Click2learn社) を用いて配布可能な CD にまとめた。CD コンテンツの一画面を示したものが Fig. 4 である。

5. まとめ

本研究では、オカナガン湖と琵琶湖の流域間で栄養塩流入負荷量に関する基礎的な比較を行い、流域特性が栄養塩の流入負荷量に与える影響について検討した。今後、さらに比較研究を進めていくために、植生や土壌などの詳細な流域情報を収集・整理し、流域特性が栄養塩流入に及ぼす影響を定量的に把握し、他流域に適用可能な汎用性のある知見を得たいと考えている。

参考文献

- 1) たとえば R. P. Gandon et. al.; pp.881-887, Water Research, 1981
- 2) 滋賀県水政課; 琵琶湖の総合的な保全のための計画調査報告書, 2001
- 3) City of Kelowna; Framework for Watershed Management Approach to Environmental Monitoring, 1997
- 4) L.G. Swain; Water Quality of Assessment and Objectives, Okanagan Area, Technical Appendix, Ministry of Environment, Province of British Columbia, 1990
- 5) K. J. Hall, et.al.; Nutrient Sources and Ecological Impacts on Okanagan Lake(CD-ROM), RMES, UBC, 2001

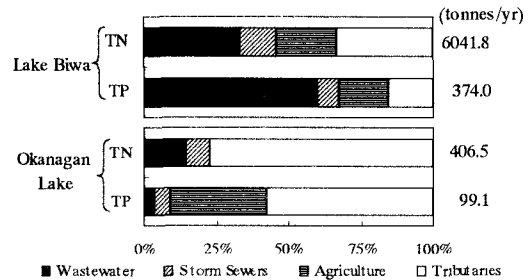


Fig. 2 Comparison of nutrient loadings between Lake Biwa and Okanagan Lake

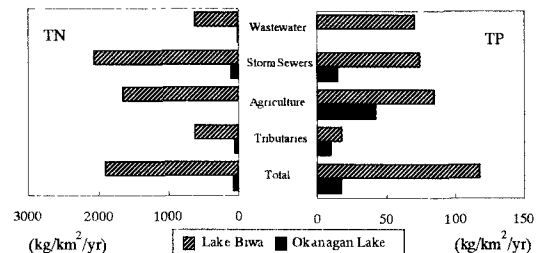


Fig. 3 Comparison of specific loadings between Lake Biwa and Okanagan Lake

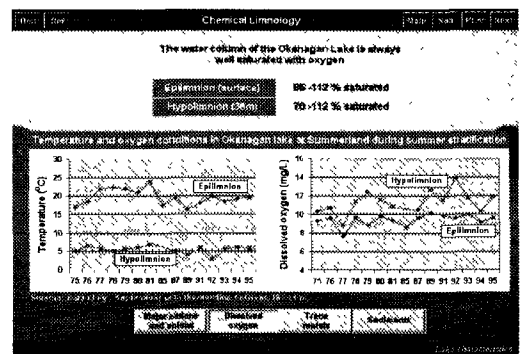


Fig. 4. Sample image of Tool Book window