

氏名	菅井 隆吉
学位の種類	博士（理学）
学位記番号	総博乙第8号
学位授与年月日	平成28年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項
文部科学省報告番号	乙第323号

学位論文題目 汽水湖宍道湖における汚濁負荷特性に関する研究
(The characteristics of pollutant loads in the brackish Lake Shinji)

論文審査委員	主査	島根大学教授	清家 泰
		島根大学教授	小俣 光司
		島根大学教授	半田 真
		島根大学准教授	宮崎 英敏

論文内容の要旨

緒言 宍道湖は、全国第7位の汽水湖であるが、近年富栄養化が進行し、湖沼の水質保全の各種対策は進められてはいるものの、設定された湖沼環境基準値の達成状況は悪く、湖沼水質は必ずしも改善されている状況にない。湖沼は長期的には、宿命的に、周辺からの汚濁物質を溜める場として機能してしまうことになるが、短期的にはアオコや赤潮の原因となる栄養塩を再供給する場ともなり、いわゆる富栄養化を悪循環させる原因にもなっている。宍道湖に係わる各種調査は、さまざまに実施されてはいるが、汚濁の進行の原因がどこにあるのか、必ずしも十分な知見が得られているとは言えない。そこで、今後の湖沼水質改善のための対策に資する研究とすべく、宍道湖における汚濁負荷特性を明らかにすることを目的として本論文をとりまとめた。本研究は以下の内容で構成されている。

第1章 宍道湖の塩分濃度は上昇傾向にあるが、日本海(美保関)の海面水位が、1990年～2013年において、0.01 m/年、のピッチで上昇しており、この日本海の海面水位の上昇に伴う海水の遡上量の増加が、宍道湖の塩分の長期的変動の要因であると推察された。また、新伊萱、上島流量観測所における80日間の日平均流量と、宍道湖湖心部におけるCl⁻濃度との間に良い相関が見られ、宍道湖のCl⁻濃度の短期的変動は、斐伊川の流量値だけで良好に再現できることが分かった。このことから、宍道湖の塩分の短期的変動は、斐伊川の流量に大きく依っていることが明確になった。

第2章 宍道湖周辺の24河川及び5小水路における、流量と水質負荷量の関係式として、最小二乗法によりべき乗形の $L=aQ^b$ による回帰式を求めたが、斐伊川の $L=aQ^b$ 式において、 b の値(傾き)が平水時に比べて出水時においてTIN以外は、明らかに大きくなることが分かった。斐伊川による宍道湖への流入水量は全体の78%を占めたが、COD、TN、TIN、TP及びPO₄-Pの負荷割合はそれぞれ、全体の60%、40%、62%、31%、36%であった。このように、斐伊川以外の河

川からの総水量は約 20%と小さいにもかかわらず、それらの TN 及び TP 負荷は高い割合を占めることを明らかにした。宍道湖への流入河川 32 地区の水質 7 項目の平均値に対して、クラスター分析を行ったところ、流入水の水質は 5 つのクラスターに分類されたが、斐伊川を除く宍道湖西岸域地点からの流入水の TIN :PO₄-P 比は、他の河川に比べ特異的に高いことが分かった。また斐伊川からの流入負荷においてリンは、COD、窒素に比べ、平水時、出水時ともに懸濁態の比率が高いことが分かったが、斐伊川の流入負荷における TN:TP 比は、平水時の 29 が出水時には 6.0 に減少し、リンの負荷は相対的に出水時において高まることを明らかにした。

第 3 章 汽水湖である宍道湖では、潮汐変動にともない、大橋川から高塩分水が遡上し、底層に塩分底成層を形成する。本研究では、その塩分底成層の深層（躍層以深の高塩分層）への無機栄養塩の回帰速度を明らかにすることを目的とし、現場観測を行った。300 ml 容の注射筒を用いた多層採水器を作製し、湖央部の 5 地点において湖底上 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 および 1.0 m の各層から同時採水した。試水中の NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N および PO₄-P を定量分析し、得られた無機栄養塩濃度に基づき栄養塩の現存量を計算した。現存量の変化より、湖央部における栄養塩回帰速度を算出した。このように求めた栄養塩回帰速度は、NH₄-N, NO₂-N および NO₃-N の和の TIN として 49 mgN m⁻² day⁻¹, PO₄-P として 7.7 mgP m⁻² day⁻¹ であること、またその N:P 比は 6.4 であることを明らかにした。

第 4 章 汽水湖である宍道湖において、湖底堆積物からの窒素、リン、DCOD 及び DOC の回帰速度の特性を明らかにすることを目的とし、2 地点の柱状底泥による室内溶出実験を行った。好気条件下では、宍道湖西部において、窒素は NO₃-N で溶出することを明らかにした。また好気条件下における PO₄-P の溶出も確認した。一方、嫌気条件下では、窒素・リンともに回帰速度は増大し、DCOD, DOC も好気条件に比べ、嫌気条件において回帰速度が大きくなることを明らかにした。

第 5 章 総合考察

第 6 章 摘要

論文審査結果の要旨

宍道湖（指定湖沼）では、水質保全の各種対策が進められてはいるものの、湖沼環境基準値の達成状況は悪く、水質は必ずしも改善されている状況にない。湖沼は周辺からの汚濁物質を溜める場として機能するが、その汚濁負荷は、アオコや赤潮の原因となる栄養塩を直接供給するのみならず再供給することにもなり、いわゆる富栄養化を悪循環させる原因になっている。宍道湖に係る調査は、各種実施されてはいるが、汚濁の原因がどこにあるのか、必ずしも十分な知見が得られているとは言えない。

そこで、菅井氏は、今後の湖沼水質改善のための対策に資するため、宍道湖における汚濁負荷特性を明らかにすることを目的に調査研究を遂行し、本論文をとりまとめた。

第1章では、宍道湖の塩分変動に着目し検討している。宍道湖の塩分は近年（1990～2013年）上昇傾向にあるが、その長期的変動の要因が日本海(美保関)の海面水位の上昇（0.01 m/y）に伴う海水の遡上量の増加にあることを見出すとともに、一方、短期的変動については、斐伊川流量（上島流量観測所の80日間の日平均流量）と、宍道湖湖心部 Cl⁻ 濃度との間に極めて良好な相関（R²=0.83）のあることを見出し、塩分の短期的変動に対しては、斐伊川の流量がその支配因子であり、かつ斐伊川の流量値だけで良好に再現できることを明らかにしている。

第2章では、汚濁負荷（外部負荷と内部負荷）のうち外部負荷（流入負荷）に着目し、宍道湖周辺の24河川及び5小水路における、流量と汚濁負荷量の関係式として、 $L=aQ^b$ による回帰式を求め検討している。そして、①斐伊川の $L=aQ^b$ 式において、 b の値(傾き)が平水時に比べて出水時においてTIN以外は、明らかに大きくなること、②斐伊川からの流入負荷においてリンは、COD、窒素に比べ、平水時、出水時ともに懸濁態の比率が高いこと、③斐伊川の流入負荷におけるTN:TP比は、平水時の29が出水時には6.0に減少し、リンの負荷は相対的に出水時において高まること、さらに特筆すべき点として、④斐伊川による宍道湖への流入水量は全体の78%を占めるが、COD、TN、TIN、TP及びPO₄-Pの負荷割合はそれぞれ、全体の60%、40%、62%、31%、36%であり、斐伊川以外の河川からの総水量（約20%）は小さいにもかかわらず、それらのTN及びTP負荷は高い割合を占めること、を明らかにしている。また、宍道湖への流入河川32地区の水質7項目の平均値に対しての、クラスター分析により、①流入水の水質は5つのクラスターに分類されること、②斐伊川を除く宍道湖西岸域地点からの流入水のTIN:PO₄-P比は、他の河川に比べ特異的に高いこと、を見出し、各河川によって汚濁負荷特性に違いのあることを明らかにしている。

第3章・第4章では、内部負荷（湖底堆積物からの回帰）について現場観測及び室内実験の両面から検討している。現場観測（5m以深の湖央部5地点対象）では、宍道湖特有の現象に底成層（密度の鉛直勾配が湖底近傍にのみ偏在）の形成があり、その底成層への湖底堆積物からの無機栄養塩の回帰速度を明らかにすることを目的に、自ら考案・作製した多層採水器を用い、湖底上0.2、0.4、0.6、0.8及び1.0mの各層から同時採水して得られた無機栄養塩の現存量の変化より、湖央部における回帰速度を算出し、TIN（NH₄-N + NO₂-N + NO₃-N）として49 mgN m⁻² day⁻¹、PO₄-Pとして7.7 mgP m⁻² day⁻¹であること、そのN:P比は6.4であることを明らかにしている。また、柱状底泥による室内溶出実験では、窒素・リンの回帰速度は、嫌気条件>好気条件であることを明確にするとともに、新知見として、宍道湖西部では、好気条件下において窒素はNO₃-Nとして溶出すること、PO₄-Pも有意に溶出すること、を見出し、湖底堆積物からの窒素・リンの溶出には水域特性のあることを明らかにしている。

以上の通り、本論文は、優れた研究成果に基づきまとめられたものであり、博士の学位に十分値する内容であると審査委員全員一致で判断した。