

## 조개를 이용한 일본 수와호의 수질개선과 지역발전의 역사

沖野外輝夫\*

日本 信州大學 名譽教授

**Regional Development and the Improvement of Water Quality using Bivalves in Lake Suwa (Japan).  
Okino Tokio (Professor Emeritus, Shinshu University, Naganogen, Japan)**

**Abstract** Lake Suwa is a natural lake which is well-known for sightseeing and fisheries. It had suffered severe eutrophication during 1960s and 1970s with the occurrence of cyanobacterial blooms and the extinction of some benthic animals. Since 1980 water quality has been improved due to efforts of local government, scientists, and citizens. Of various methods that were attempted to improve the water quality of Lake Suwa biological methods received much attention, because it can improve the lake ecosystem integrity and fisheries in addition to the water quality. The aim of this paper is to introduce the biological methods for water quality improvement that had been employed in Lake Suwa, Japan, and their contribution to the economic benefit of local residents. Until now a significant restoration of water quality has been achieved, but there are insufficient recovery of the sediment and biota due to anoxic hypolimnion of the lake. This study proposed suspended cage culture of bivalves as a feasible method of water quality improvement. Increased grazing by bivalves will contribute to the improvement of water quality and fisheries production, which will contribute both to the ecological restoration and economy of local residents.

**Key words:** Lake Suwa, biological methods, water quality improvement, bivalves, ecological restoration

### 서 론

#### 수와호의 수질오염과 정화의 역사

1970년대 수와호는 일본의 호수 수질오염도 1위로 반갑지 않은 명성을 얻고 있었다. 그러나 1960년대 후반부터 시작된 정화활동이 효과를 거두어 현재는 일본의 일정규모 이상의 수면적을 가진 큰 자연호 가운데 유일하게 수질정화에 성공한 호수로 주목 받게 되었다.

성공의 주요인은 일찌기 정화대책이 수립되었고 대책들이 적절히 시행되었기 때문이다. 특히, 위치선정에 다소 결함이 있기는 하였지만 관계자들의 노력으로 조기에 하수종말처리장이 건설된 것이 수질 개선의 큰 요인으로 평가된다. 대규모 하수도 건설에 시간이 걸리는 어려움이 있었지만, 현재 수와호 유역 하수도의 완성률은 98%를 넘었으며, 하수도 접속률도 90% 이상으로 거의 완성에 가까워지고 있다. 유역 주민의 수와호 정화에 대한 의식이 높아지고 있는 것도 수와호 정화의 진전에 큰 힘이 되고 있다. 또한 하수처리장에서 질소와 인을 제거하는 고도처리를 시행하였으며, 하수처리장 방류수를 실질적으로 호수의 하류로 방류하는 것도 수와호의 수질 정화에 크게 기여하고 있다.

수와호의 오염에서 회복에 이르는 역사를 정리하면

Manuscript received 12 September 2013, revised 25 January 2014,  
revision accepted 27 January 2014

\* Corresponding author: Tel: +81-266-58-0490, Fax: +81-266-58-0490,  
E-mail: okinosw@po2.lcv.ne.jp

© The Korean Society of Limnology. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provide the original work is properly cited.

**Table 1.** The chronological record of anthropogenic impacts and their effect on Lake Suwa.

Stages	Period	Social changes	Change of pollution sources and control measures	Major pollutants	Effect on the lake
Stage I	1900~1960	Development of silkworm industry. Population increase. Deforestation in the watershed.	Industrial wastewater. Domestic sewage. Soil erosion.	Organic matter in wastewater. Sediments	Eutrophication. (changed from mesotrophy to eutrophy)
Stage II	1960~	Economic development. Increased industrial activities. Improved living standards.	Increase of industrial wastewater, sewage, agricultural drainage, fertilizer runoff	Heavy metal. Organic wastewater. Increase of nitrogen and phosphorus	Water Pollution. Eutrophication (outbreaks of cyanobacterial blooms). Hypoxia in the hypolimnion in summer. Changes in aquatic biota
Stage III	1975~	Implementation of environmental control measures (environmental standards, wastewater standards established, sewer construction, in-lake pollutant source removal) Increase of concrete bank shore.	Development of industrial wastewater treatment. Some public sewer start in autumn, 1979. Dredging is extended from littoral zone to the whole lake basin	Decreased loadings of heavy metal, industrial organic wastewater, organic matter in domestic sewage, phosphorus in the sewage. But agricultural loading continued.	Water quality improved. Continued eutrophication phenomena. Littoral zone reduced. Cyanobacterial blooms continued. Outbreak of midge.
Stage IV	1990~	Sewer system improved. Enhanced citizen's stewardship. The goal of lake management changed from water quality to ecosystem conservation	Improved sewer system. Advanced treatment start. Diversion of sewage treatment effluent to the lake outlet. Restoration of littoral zone start.	Decreased loading of organic matter, nitrogen, phosphorus. But the loading from non-point sources continued.	Cyanobacterial bloom decreased. Midge decreased. Increased littoral aquatic plants. (The increase of reed caused a new nuisance problem) Fish catches continued to decline
Post Stage IV	2005~	Sewer system almost completed, Increase of restored littoral zone	Sediment dredging in the lake stopped. Agricultural fertilizer reduced.	Hypoxia at the sediment in summer. Increase of littoral aquatic plants	Water quality continued to improve. Improved amenity. Expansion of water chestnut. Weak improvement of fish catch. Improved water quality met the goal for nitrogen. Significantly improved transparency

대략 Table 1과 같이 정리된다(Okino, 2005). 일반적으로 일본의 강과 호수의 오염은 1960년대에 시작된 고도 경제성장에 의해 초래되었지만 수와호의 경우에는 메이지시대에 시작된 양잠업의 발전과 그에 따른 수와호 주변의 인구 집중에 의한 산업폐수, 생활하수의 유입이 호수 수질오염의 주요원인이 되었다고 생각된다. 또한 양잠업의 발전이 배후산림에서 땀감채취를 유발하여 결과적으로 산림황폐에 의한 토사유출을 증가시킨 것도 수와호가 변화하게 된 원인이 되었다. 수와호의 변화의 역사는 유역활동이 호수환경에 미친 영향에 따라 세 기간으로 나눌 수 있다.

제1기는 메이지시대 (19세기 후반~20세기 초)로서 인위적인 요인에 의한 수와호의 점진적인 수질변화 시기이다. 제2기는 고도경제성장(1960~1980년)에 따른 급격한 수질오염의 시기이다. 제3기(1980년 이후)는 호수의 정화대책이 진행되어 수질이 회복되는 시기이다. 이 제3기는 지역주민의 수와호에 대한 관심도가 더욱 높아져, 수와호의 정화목표가 수질정화에서 생태계보전으로 변화해 가는 시기에 해당된다. 그리고 현재는 더욱 발전된 수와호생태계 복구를 향해 신중한 대응이 요구되는 시기이다.

2011년 4월 8일 지역신문 長野日報의 1면 톱기사는

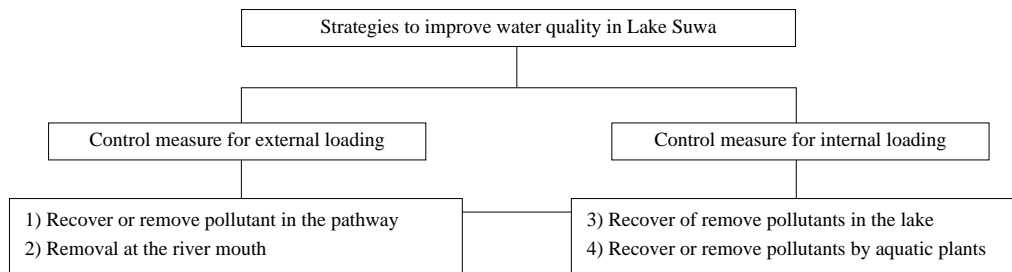


Fig. 1. Strategies of water quality improvement in Lake Suwa.

“수와호 수질목표 17년만에 달성”이라는 큰 제목으로 꾸며졌다. 내용은 2010년도 수질측정결과가 나가노현 수와지방사무소에서 발표되었다는 보고이었다. 현재 일본 湖沼法에 의거 지정호소로 선정되어 있는 수와호의 정화계획은 제5기 계획기간 중에 있으며, 2007년부터 2011년까지가 계획기간으로 설정되어 있다. 나가노현에서는 매월 1회, 호수 내 3개의 환경기준 정점에서 수질 측정을 실시하고 있다. 계획기간 동안의 수질 달성목표는 환경기준 정점의 연평균 값으로 설정되어 있는데, 제 5기의 수질목표는 COD가  $4.6 \text{ mg L}^{-1}$ , 총인  $0.05 \text{ mg L}^{-1}$ , 총 질소  $0.64 \text{ mg L}^{-1}$ 이었다. 발표에 따르면 2010년의 측정결과 COD가  $4.5 \text{ mg L}^{-1}$ , 총인  $0.042 \text{ mg L}^{-1}$ , 총 질소  $0.76 \text{ mg L}^{-1}$ 이었다. 세 가지 주요 수질항목 중 COD와 총인은 목표를 달성하였고, 총질소는 다소 미달되는 결과였다. COD가 목표를 달성한 것은 기록적인 저온현상이 있던 여름도 하나의 요인이었지만, 1993년(COD  $4.0 \text{ mg L}^{-1}$ )을 제외하면, 호수 정화계획의 수립 이후 처음 있는 일이었다. 환경기준 최종목표인 COD  $3 \text{ mg L}^{-1}$ 에는 미치지 못하지만, 수와호는 수와지역에 있어서 지역의 상징적인 자연자원이기, 수와호의 수질개선이 지역 신문의 톱 기사로 다루어진 것은 당연하다. 1967년부터 수와호와 인연을 맺고 있는 필자에게도 감개무량한 발전이었다.

그러나 수질이 복구된 후에도 생태계 전체에 대해 살펴보면 저질 및 생물군집의 회복은 아직 충분치 않아 보인다. 특히 저질에서는 여름 고온기에 빈산소층이 발달하여, 저서동물의 서식에 지장을 초래하는 경우가 많으며, 어민들은 이에 대한 개선책을 요구하고 있다. 나가노현에서도 수와호의 정화를 목표로 2001년부터 새로운 수와호 정화공법의 검토가 이루어지고 있으며, 현재는 수와호로 유입하는 오염물질의 삭감방법에 대해 두 가지 공법, 호수 내 대책으로 두 가지 공법이 검토 중이다(Fig. 1). 본 원고에서는 이들 네 가지 공법 가운데 필자의 전문분야에 가깝고 현재 저자가 독자적으로

검토·시험 중인 생물학적 방법에 의한 수와호 생태계의 보전방안을 소개하고자 한다.

## 본 론

### 1. 수와호의 육수생태학적인 특성과 패류의 역할

#### 1) 2009년도 수와호 저층의 상황

수와호 정화공법 검토위원회에 2011년 2월에 제출된 자료에 따르면, 8월 초순에서 중순에 걸쳐 저층의 용존 산소량(DO)이  $3 \text{ mg L}^{-1}$  이하로 낮아져 저서동물이 서식하기 어려운 조건이 형성되고 있다. 이 시기는 여름성층기에 해당하며, 표수층과 심수층의 수온 차이가  $4^{\circ}\text{C}$  정도였다. 빈산소층은 수와호의 북서쪽에서 남서쪽에 걸쳐 주로 호수의 서쪽 측면에 형성되는 경향을 보였다. 빈산소층은 풍속  $4\sim 7 \text{ m sec}^{-1}$  이상의 강한 바람이 불면 해소되기 때문에 빈산소층이 나타나더라도 4일에 한 번 정도의 빈도로 소멸된다. 그러나 저서동물에게는 하루라도 산소가 부족한 물에 노출되면 생존하기 어렵기 때문에 현재는 수심 3m 이내 지역 이외의 깊은 곳에서는 저서동물의 생존가능성이 낮다.

저서동물 중 빈산소에 내성을 보이는 깔다구류, 실지렁이류는 제외한 이매패와 고둥은 여름철에 호안 가까이 서식하고 있는데, 이 분포에는 호수의 산소농도 분포가 큰 영향을 주고 있다(Kurasawa, 1950). 최근 수와호에서 패류의 감소가 뚜렷이 나타나고 있는 것도 저층의 빈산소화의 영향이다. 수질이 개선추세를 보이고 있음에도 불구하고 여전히 저질의 개선은 답보상태에 있기 때문인데, 현재 저질의 산소조건은 과거 수질오염이 심하고 흑수현상이 빈발하던 시기(1960~1970년)의 저층상황과 비슷하다. 이 시기에는 호수의 심층에 무산소층이 형성되어 있다가 풍속  $5 \text{ m sec}^{-1}$  정도의 강한 바람이 강하게 부는 날에 표수층의 물이 風下측으로 밀려가면서 風上측에서는 심층의 무산소수괴가 표수층으로

용승하여 물색이 검게 변하는 黒水 현상(일본어로 매수 煤水 스프미즈라 부른다)이 발생하였다. 흑수현상이 발생할 때에는 양식장의 어류와 저서동물들이 대량 폐사하는 summer kill 현상이 발생하였다(Yamagishi *et al.*, 1972). 당시 수심 4 m 정도의 호수 연안부에 설치되어 있던 가두리 잉어양식장에서 어류가 대량 폐사하는 사건이 다발하였고 사회문제가 되기도 했다. 그 후 綠潮 현상의 대량 발생으로 인하여 남세균이 생성하는 산소 방출이 많아졌고, 가두리를 호수의 중심부로 이동시키거나 배의 스크류를 활용하여 외부의 산소가 풍부한 물을 가두리에 공급하는 등의 방법으로 양식장의 피해를 저감시켰다. 그러나 수질이 개선되어 가더라도 어류폐사는 다시 일어날 것으로 예상하고 있었지만, 다행히 가두리 잉어양식업은 현재 이루어지고 있지 않아서 큰 경제적 인 피해는 발생하지 않았다. 그러나 저서동물의 생존을 위협하는 서식환경의 악화는 지속되고 있으며 이때패류의 감소라는 피할 수 없는 결과는 계속되고 있다.

심수층 빈산소화의 원인은 수중에서의 저질의 유기물 공급이 많아 저니에 의한 산소소비량(sediment oxygen demand)이 크기 때문이다. 저질에 유기물을 공급하는 주요 공급원은 식물플랑크톤이다. 과거에 표수층에 대량 번식하던 남세균은 수질개선의 결과로 크게 감소하였다. 그러나 수중에 빛의 투과도가 증가하면서 중층에서 번식하는 규조류가 증가하였기 때문에 단위면적당 식물플랑크톤의 현존량은 남세균의 증식시기와 비슷하거나 그 이상의 양으로 증가하고 있는 상황이다. 그것은 사전에 하수도 개선에 의한 수질정화 효과를 예측한 시뮬레이션에서도 예상되어 있었다(Okino, 1982). 수질이 개선되었다고는 하지만, 현재의 수와호의 수질 상황은 여전히 규조류가 성장하기에는 충분한 부영양 상태에 있다고 말할 수 있다.

한편, 저질의 서식조건이 나쁘고, 저서동물이 생존할 수 없기 때문에 여과섭식자인 이때패류가 감소하여 저질로 침강하는 식물플랑크톤을 소비할 수 없게 되었고, 결과적으로 규조류의 증식이 저질의 유기물 양을 증가시키고 SOD를 증가시키는 원인이 되었다. 수와호의 저질 개선이 지연되는 이유는 수질은 개선되었지만 수와호 생태계의 물질순환 시스템을 담당하는 중요한 생물환경에는 결손이 있기 때문이다. 따라서 이러한 생물환경의 결손을 인위적으로 보완하여 식물플랑크톤의 소비를 촉진하고, 수질정화와 함께 장기적으로 생물군집의 균형을 회복시키며, 아울러 수산업, 관광업을 육성하는 지역 진흥에 도움을 줄 목적으로 이때패의 호수 내 양식을 시도하였다.

## 2) 수와호에 서식하는 이때패류와 수질정화 기능

수와호에 서식하는 이때패류로는 귀이빨대칭이(*Cristaria plicata*), 펠조개(*Shinanodonta woodiana*), 말조개(*Unio douglasiae nipponensis*), 참재첩(*Corbicula leana*), 세타재첩(*Corbicula sandai*), 일본재첩(*Corbicula japonica*), 삼각산골조개(*Sphaerium japonicum*) 등 7 종이 보고되어 있다(Kurasawa and Okino, 1975). 이 중 참재첩은 초기의 수질오염 과정에서 절멸되었다. 참재첩은 수와호 지역의 식품으로 중요한 수산물이었기 때문에 처음에는 비와호에서 세타재첩을 구입하여 방생하였다. 그러나 세타재첩은 비와호에서도 감소하여 구입이 곤란하였기 때문에 汽水종인 일본재첩을 방류해 왔다. 그러나 일본재첩은 저질환경의 악화 때문에 증식의 결과가 좋지 않을 뿐만 아니라 생식에는 汽水 조건이 필요하여, 장기적으로 수와호의 자연적인 생물군집의 구성원이 될 가능성은 낮다.

귀이빨대칭이는 세계2차대전 중에는 양복단추의 재료로서 수요가 많아, 수와호 수산물 가운데 생산량이 많은 중요한 조개이었다(Kurasawa, 1980). 그러나 현재는 수요가 없어 수산어획의 대상이 아니다. 귀이빨대칭이의 수요가 감소하였어도 오랜 기간 동안 수와호에 대량으로 서식하여 주변 주민들이 식용으로 채취한 적도 있었으나, 식용 수산생물로서의 가치는 없었다. 원래 귀이빨대칭이는 수와호의 고유종이 아니라 가스미가우라호에서 1917년에 도입한 이입종이다. 그 외에도 수와호에 서식하는 패류 가운데 세타재첩은 비와호에서, 일본재첩은 신지호 같은 기수호에서 이입된 종이다. 고유종 가운데 참재첩이 멸종된 현재로서는 남아 있는 고유종은 삼각산골조개, 말조개, 펠조개 등 세 종뿐이다.

귀이빨대칭이는 민물진주조개(*Hyriopsis schlegeli*)처럼 담수 진주를 만들 수 있으나, 일반적으로 잘 알려져 있지 않다. 과거에는 천연 귀이빨대칭이, 펠조개를 이용하는 진주양식이 비와호 주변에서 시도되었지만 생산되는 진주의 불량품이 많아 상품화에는 실패하였다. 그 후 비와호·요도가와 수계의 고유종인 민물진주조개를 이용한 담수진주양식이 확립되어 상품화가 진행되었다. 담수 진주 생산이 궤도에 오를 때까지의 경과는 주식회사 사이구사(三枝)의 홈페이지 '비와호의 진주'에 구체적으로 서술되어 있다(Table 2; Saigusa, 2011).

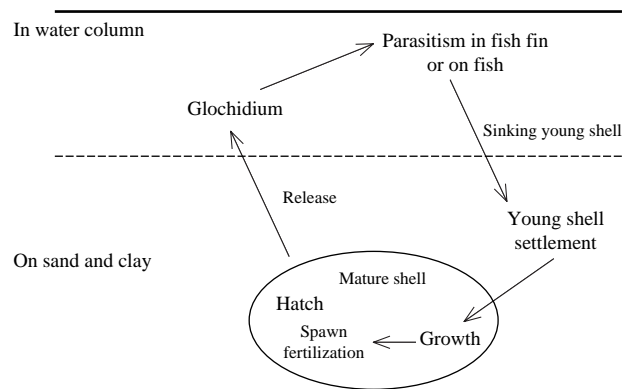
민물진주조개, 펠조개 등의 조개류는 여과섭식자로 식물성플랑크톤을 먹이로 증식하기 때문에 최근에는 수질정화에 응용하려는 시도가 일본 각지에서 행해지고 있다. 민물진주조개 양식의 원조인 비와호에서도 오우미하치만(近江 八幡)의 하치만해저(八幡堀)에서 수질정화

**Table 2.** The chronological record of freshwater pearl aquaculture development (Saigusa, 2011).

Age	Place · Name	Kinds of shell	Contents
11th century	China	<i>Cristaria plicata</i>	Buddha statue with pearl decoration
18th century	Germany, France	<i>Margaritifera laevis</i> · <i>Cristaria plicata</i>	Cultured for pearl producing mother shell
1888	Mikimoto Koukichi	<i>Pinctada fucata martensii</i>	Marine pearl farming technique development start (Success at 1894)
1910	Mikimoto Koukichi	<i>Hyriopsis schlegeli</i>	Freshwater pearl farming research started, but failed.
1924	Fujita Masayo	<i>Cristaria plicata</i>	Research started. Pearl farming started in Lake Hira in Shiga prefecture at 1925
1927	Yoshida Toranosuge		Freshwater pearl farming research group established. Research using mother shell of <i>H. schlegelii</i> in Lake Biwa started in 1928
1930	Fujita Masayo	<i>Hyriopsis schlegeli</i>	Pearl farming technique success. Freshwater pearl farming corporation established by the investment of Mikimoto (President: Kazama Hachizaemon) in 1935, Seedless freshwater pearl farming technique success in 1946
1948	Fujita Masayo	<i>Hyriopsis schlegeli</i>	Lake Biwa pearl farming corporation reestablished. A pearl farm was constructed in Kinukawa (Ootu City), business launched.
1956	Shiga Prefecture	<i>Hyriopsis schlegeli</i>	Fisheries Cooperative Association of Shiga Prefecture inherited the Fujita Masayo Corporation. In 1957, Tanaka Shingo established a pearl industry company in Shiga Prefecture. Fisherman has flourished freshwater pearl farming in Shiga Prefecture
1968	Shiga Prefecture	<i>Hyriopsis schlegeli</i>	Pearl mother shell fishery cooperation established, Artificial reproduction of <i>H. schlegelii</i> launched, and commercialized. Launched pearl farming in pearl farming corporation in 2009 in Shiga Prefecture
1980	Shiga Prefecture	<i>Hyriopsis schlegeli</i>	Sale of pearl exceeded four thousand-million Yen
1992	Lake Biwa	<i>Hyriopsis schlegeli</i>	In Lake Biwa, amount of catch became zero

실험을 시도하고 있다. 민물진주조개의 여과량은 하루 200 L로서, 식물플랑크톤의 제거량을 산정하여 정확효과를 평가할 수 있다. 그 외에도 민물진주조개에 관해서는 오사카(大阪)의 요도가와, 군마현의 쓰루우다(鶴生田)강, 이사하야(諫早)만 간척조정지(Ishizaki *et al.*, 2007), 도쿄전력의 코모로발전소 조정지(Ueda and Idekoshi, 2006) 등의 사례가 있고, 펄조개를 사용하는 사례는 히가시하리마의 저수지에서 보고되고 있다.

수와호에서도 나가노현 수와수산시험장 지부에서 1985년부터 3년간 대형 조개에 의한 영양염류 회수기 슬개발시험 연구가 수행되었다. 1999년의 보고에 따르면, 수온 15°C에서 여과속도는 귀이빨대칭이가 800 mL hr<sup>-1</sup>, 펄조개가 300 mL hr<sup>-1</sup>, 말조개가 400 mL hr<sup>-1</sup>였다(Nagano Prefectural Fisheries Experiment Suwa Station, 1999). 그러나 수온 15°C는 패류의 활동이 약간 낮은 조건이며, 수온이 높으면 이보다 높은 여과 속도를 얻을



**Fig. 2.** Life cycle of *Cristaria plicata*.

수 있을 것이다.

귀이빨대칭이류의 생활사에 있어서는 어류와의 공생 관계가 중요하다(Fig. 2). 성패는 모래 저질에 서식하며



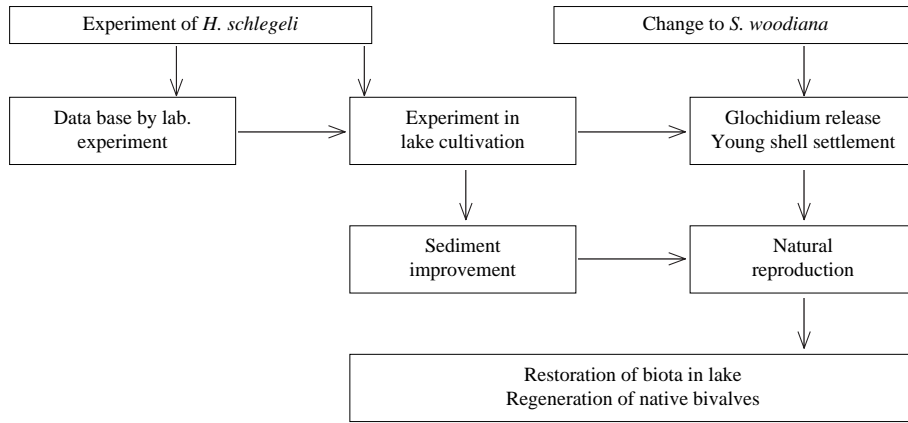


Fig. 3. Blueprints of biological restoration in Lake Suwa.

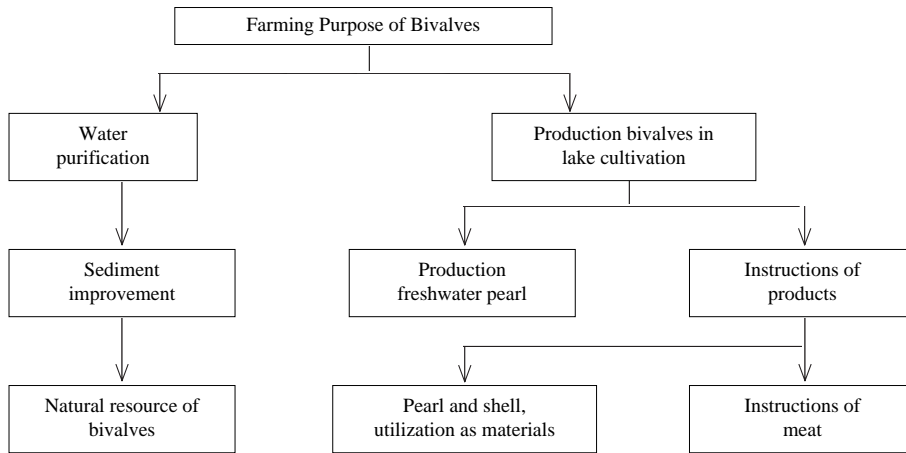


Fig. 4. Purposes of shellfish farming.

수중에서 침강하는 식물플랑크톤을 먹으며 성장한다. 성숙한 성체는 산란과 수정, 부화가 母貝 내에서 이루어져 glochidium 유생이 된다. Glochidium 유생은 모패로부터 수중에 방출되어 플랑크톤의 시기를 보내지만 곧 주변에 서식하는 어류의 지느러미 등 어체에 부착하고稚貝가 될 때까지 기생생활을 한다. 치패가 되면 지느러미에서 이탈하여 호수 바닥에 침강하고 모래 저질에서 성장한다. 그러므로 호수에서의 생식에는 저질과 주변의 어류상이 중요하다. 저질과 어류상이 적합한 환경이 조성되지 않는 단계에서는 Fig. 3과 같이 인공배양이라는 인간의 지원이 필요하지만 장기적으로는 호수에서 자연재생산이 이루어지는 것이 바람직하다. 수와호의 경우에는 이입종인 민물진주조개를 이용하여 경험을 쌓은 후 장기적으로는 고유종인 펄조개로 전환하는 것이 필요할 것이다.

### 3) 수와호에서 패류 재생 프로젝트

Fig. 4에서는 수와호의 조개양식의 목적과 향후 활동 계획을 보여 주었다. 민물진주조개 또는 귀이빨대칭이라고 명시하지 않고, 이매패류라고 기재한 이유는, 재첩류 양식도 고려하고 있기 때문이다. 이매패류의 방류는 현재 어업협동조합 활동으로 인가되어 있지만, 호수에서 양식을 하려면 수산청의 승인이 필요하다. 따라서 향후의 양식실험 시에는 귀이빨대칭이류와 재첩류를 포함하는 허가가 필요하다. 재첩류도 이매패로서 수질정화능력이 있다. 그러나 현재의 저질 상태로서는 이미 방생허가가 발급되어 있는 일본재첩의 경우에도 치패를 방류하더라도 생산량이 낮아 경제적으로 타산이 맞지 않는 실정인데, 하물며 오래 전에 절멸된 참재첩은 자연번식의 가능성이 거의 없다. 그래서 당분간은 호수 중에 부유식 cage 양식법으로 생산하여야 하며, 그 부수적인 효과로

서 수질정화를 기대하고 있다. 일본재첩에 관해서는 이미 부유식 cage 양식법이 가능하다는 것은 어업 협동조합의 조합원에 의해 입증되었다. 또한 참재첩의 양식이 가능하게 되면 수와호 특산 조개로서 활용이 가능할 것이며, 만일 장래에 저질의 환경조건이 개선된다면 양식에 의해 산란, 수정, 부화된 유생이 호수에서 생존하고 치패가 호수 바닥에 정착하여 자연재생산이 가능해지는 고유종의 부활을 기대할 수도 있을 것이다.

민물진주조개 또는 펠조개에 의한 진주 생산을 위해서는 수온이 낮은 수와호에서 성장속도가 얼마나 될까, 겨울에 결빙되는 추운 시기를 견딜 수 있을까 등에 관하여 수와호에서 실증적 연구가 이루어지고 있다 (Yoshida, 2013). 비와호의 담수진주 양식에서도 기초적 연구에서는 교토 대학이학부부속 오오쓰임호실험소 연구원이 협력한 것처럼, 수와호에서도 신슈대학의 연구자와 나가노현 수산시험장 연구원간의 협력이 이루어지고 있다. 다행히 주민단체를 중심으로 이 두 연구기관과 수와호어업협동조합의 협력체제도 구성되어, 현재 실증적인 연구가 진행되고 있다. 연구 측면에서 조개류 양식에 대한 전망은 밝으나 해결해야 할 과제가 많다. 그 중 하나는 시험연구비용과 양식비용의 조달인데, 특히 양식에 있어서 원료가 되는 민물진주조개를 구입하는 자금이 필요하다. 자금조달 방법으로는 민물진주조개의 오너제도 채용 등의 최근 태양광발전에서 채택하는 자금조달 방법도 검토되고 있다. 주민주체의 활동이 재원조달을 공공지원에만 의존하는 것이 아니라, 가능한 한 주민 스스로 자립적으로 운영하도록 하는 것이 앞으로의 지역발전을 위해서도 필요한 노력이라고 생각한다.

4) 생산된 조개의 이용과 지역발전

생산된 진주의 판매에 관해서는 저렴한 중국산 진주가 유통되고 있는 일본의 시장현황과 비와호라는 선진적인 생산지역이 있다는 점을 고려할 때 동일한 시장에서 충돌하는 것은 좋은 방법이 아니다. 제로에서 출발하는 수와호 지역에서는 경험도 기술적 배경도, 인적 자원도 부족하고, 단순한 양식기술을 수용하는 것만으로는 성공가능성이 매우 낮다고 생각한다. 그래서 수와호에서는 진주의 대량 생산을 목표로 하지 않고 조개껍질을 포함하는 진주조개 전체를 원재료로 이용하여 다른 제품으로 가공함으로써 지역특산품으로서 개발하는 것을 목표로 하고 있다. 이를 위해 본 프로젝트에서는 수와호에서의 양식법을 연구하는 생산방법개발분과와 제품개발 및 판매를 담당하는 분과를 설치하였다. 전자의 분과에서는 단순히 양식기술 습득만을 목적으로 하는 것이

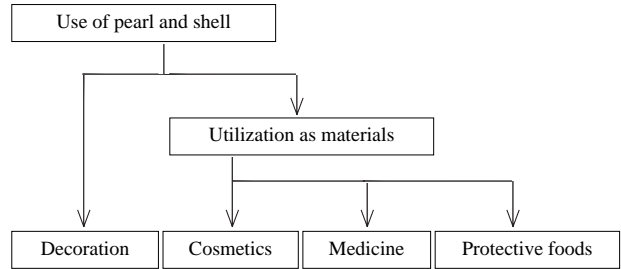


Fig. 5. Major pear products by Mikimoto medicine company (from Wikipedia).

아니라, 수와호 생태계의 자연복원도 고려하는 활동이 될 것으로 기대되고 있다. 후자 분과에서는 본 프로젝트에 관심이 있는 주민이라면 누구든지 아이디어를 제공하여 자유롭게 토론하고, 지역인흥을 목표로 수와지역 고유의 제품개발 및 판매방법을 제시하는 활동을 기대하고 있다.

진주와 조개를 원료로 사용하는 제품의 개발은 이미 미키모토진주와 관련이 있는 미키모토제약(御木本製藥) 주식회사에서 실시하고 있다. 해당 제품의 내용을 Wikipedia에 의한 회사 소개로부터 정리해 보았다 (Fig. 5). 중국에서는 예로부터 불로장생의 한방약으로 알려져 있었으므로, 의약품 및 의약부외품으로의 이용은 당연하지만, 화장품이나 의료품으로도 이용이 가능하다고 한다. 지역주민이 지역의 특산물로 제품을 개발한다면, 담수진주양식은 지역발전의 재료로서도 크게 기여할 수 있을 것이다. 판매 방법도 단순히 배송료를 받고 제품만을 판매하는 것이 아니라 구매자를 지역으로 유치하여 판매한다면 지역의 다른 산업에도 도움이 될 것이다. 다행히 수와호지역에는 온천을 중심으로, 호수, 고원, 산악 등 관광자원이 풍부하므로 지역 전체의 원료생산, 제품생산, 판매, 관광객유치 시스템을 종합적 관점에서 구축하는 것이 좋을 것이다. 조개양식 프로젝트에는 당면한 수와호의 수질정화와 어민소득증대뿐 아니라 향후 수와호의 생태복원, 그리고 지역의 특색을 가지는 종합적인 자립화의 미래가 걸려있다. 그 핵심으로서 지역의 상징인 수와호의 자연이 복원되는 모습이 보이면서 동시에 주민의 이익이 함께 증진될 수 있는 구조를 구축하는 것이 필요하다.

적 요

본 연구는 생물학적 기법에 의한 수와호 생태계 보전

방안에 있어서 자연재생법의 일환으로 조개를 활용한 내용을 소개하였다. 수와호는 과거 먹이연쇄구조에서 일차생산자의 증식을 제어할 수 있는 생물(여과일차소비자)의 결손이 있었던 호소환경이었고, 최근까지도 이에 대한 지속적인 관리방안 및 대책을 시행해 왔다. 그 일환으로서 이매패류를 호수 내 부유식 cage를 이용하여 양식하는 방식이 대표적인 성공사례이다. 이는 식물플랑크톤의 소비를 촉진을 통한 수질정화를 도모하고 장래적으로는 수와호 저질환경개선을 유도함으로써 호소생태계의 생물 군집의 균형을 회복시키는 중요한 호소생태계복원과정의 롤모델이 될 것이라 기대하고 있다. 그럼에도 불구하고, 조개와 관련한 산업화에는 여전히 해결해야 할 과제들이 산적해 있다. 우선적으로 패류의 양식을 위한 연구비용과 양식에 드는 비용적인 측면에서 자금의 조달이 가장 큰 현안이 되고 있다. 이에 대한 방안으로 공공지원자금에만 의존하기 보다는 지역특산물 개발 및 자연복원을 고려한 활동을 추진할 필요성이 있다.

조개를 이용한 수와호의 수질정화 및 지역발전 계획은 주민단체인 “수와호 클럽”이 중심이 되어 2010년부터 시작한 프로젝트의 하나이다. 이 프로젝트는 초기 단계에 있는데 그 기초이론은 기존의 보고된 연구 결과나 각지에서의 수질정화 대책들을 차용한 것이며, 특별히 새로운 것은 아니다. 수와호를 더 깨끗하게 하고 싶다는 현지의 요구를 충족하기 위해서는 하드공법도 생각할 수 있지만, 자연생태복원을 목적으로 한다면 더 자연스러운 방법, 생물활성을 이용하는 방법이 있지 않을까 생각할 때 떠오른 것이 패류의 복원이었다. 이에 장기적 비전으로 지역경제발전책을 포함하여 주민들이 자발적으로 계획을 만들어 제안할 수 있다면 수와호의 자연생태복원도 꿈이 아니라고 기대하고 있다.

## 사 사

본 논문은 한국 강원대학교 명예교수 故 조규송 교수의 추모기념지 발행에 즈음하여, 김범철 강원대학교에서 요청을 받아 조규송 교수의 遺德과 한일우호의 가교가 된 업적을 추모하며 작성되었다. 본 논문은 육수학, 생태학의 순수과학적 논문은 아니지만, 조규송 교수의 수와호 연구에 대한 관심에 감사하며 사회학적 내용을 포함한 형태로 본 논문을 본 기념지에 투고하기로 하였다. 생전에 조규송 교수는 수와호를 종종 방문하고 수와호의 환경보전 대책에 항상 관심을 가지고 계셨다. 조규

송 교수는 항상 수와호 연구그룹과 친하게 교류하였으며 조규송 교수의 주선으로 강원대학교 환경연구소와 신수대학 이학부 부속 수와호실협소 간의 자매 결연을 맺었고(1994), 더욱이 두 대학 간 자매 결연으로 발전한(1995) 것도 회상이 된다. 조규송 교수의 제안으로 시작된 국제심포지엄, International Symposium on River and Lake Environment은 1981년 이래 한국, 중국, 일본의 육수학 연구자의 연구 교류의 장으로 발전하였고, 세 나라의 육수생태학의 발전에 크게 기여해 온 것은 조규송 교수의 크나큰 업적의 하나로서 이 글의 마지막에 적어, 육수학 연구의 후배로서 감사의 글을 마감하려 하며, 논문을 한국어로 번역하여 주신 이재용 박사과 김범철 교수께 감사한다.

본 프로젝트 관계자 및 협력하여 주신 시가현의 진주 양식어업협동조합의 조합장 사이끼이사오씨, 후루사도 미야코씨 · 꿈만들기협의회 회장 스킨야스히로씨에 이 지면을 빌어 감사한다. 또한, 본 논문의 원본인 논문의 수정, 게재를 흔쾌히 승낙을 받은 HEDORO 편집부의 분들께 진심으로 감사 드립니다.

## REFERENCES

- Ishizaki, S., N. Ura and Y. Migita. 2007. Study water purification of Isahaya Bay reclamation regulating pond by *Hyriopsis schlegeli*. *Reports of Nagasaki Prefectural Environmental Health Research Center* **53**: 47-52 (in Japanese).
- Kurasawa, H. 1950. The vertical distribution anniversary changes in coastal benthic animals in Lake Suwa Roku-to river near the mouth. *Reports of the Research Institute for Natural Resources* **15**: 28-40 (in Japanese).
- Kurasawa, H. and T. Okino. 1975. List of animal and plantspecies of Lake Suwa. *Journal of the Faculty of Science, Shinshu University* **10**(2): 85-104.
- Kurasawa, H. 1980. Secular changes of the shipment value high and Lake Suwa in annual catch (1895-1978) more than 80 years. *Report of Suwa Hydrobiological Station, Shinshu University* **3**: 76-116 (in Japanese).
- Nagano Prefectural Fisheries Experiment Suwa Station. 1986. The nutrient recovery technology development test by large bivalve. Report of freshwater red tide countermeasures technology development in 1985. pp. 28-44 (in Japanese).
- Nagano Prefectural Fisheries Experiment Suwa Station. 1999. Research for the conservation of fishery environment of Lake Suwa Lake Suwa purification measures progress (Document 6) (in Japanese).
- Nagano Prefecture Suwa Construction Office. 2011. Method Committee on 1st Lake Suwa purification (Document) (in Japanese).



- Okino, T. 1982. Urban-Hinterland Interaction, Urban wastes and the ecosystem of Lake Suwa. *Report of Suwa Hydrobiological Station, Shinshu University* **4**: 1-8 (in Japanese).
- Okino, T. 2005. Changes in water quality and history of Lake Suwa. Chapter 1: History of research and transition of environment. 「Lake Suwa that blue-green algae has disappeared - Drama of living creature and human -」. The Shinano Mainichi Shimibun. pp. 10-27 (in Japanese).
- Okino, T. 2011. Regional development and improvement of water quality using bivalves in Lake Suwa. *HEDORO* **111**: 29-36 (in Japanese).
- Saigusa, Inc. Homepage: Biwa Pearl 2. History of freshwater pearl. 2011. <http://www.3193.co.jp/>(in Japanese).
- Suzuki, I. 2010. Personal communication. The water quality data by the Environmental Action of *Hyriopsis schlegeli* (in Japanese).
- Ueda, S. and T. Idekoshi. 2006. Study on water purification effect and freshwater pearl culture using an artificial floating island. *Electric power civil engineering* 26-31 (in Japanese).
- Yamagishi, H., H. Hayasi, T. Okino, H. Fukuhara and K. Aoyama. 1972. Ecological studies on dissolved oxygen and bloom of *Microcystis* in Lake Suwa. 2. Carp culture in floating nets and its influence on the distribution of dissolved oxygen during the season of *Microcystis* bloom. *Bulletin of Japan fish* **38**(11): 1237-1245 (in Japanese).
- Yoshida, C. 2013. Studies on the reproduction of bivalves in Lake Suwa. Shinshu University Graduate School of Science and Technology, Geosphere and Biosphere Science, Master's Thesis (in Japanese).