

淀川・大和川における統一水質指標 —下水道処理率や土地利用・植生を考慮して—

寺本智子*・山敷庸亮・寶馨

* 京都大学大学院工学研究科

要 旨

水質計測を行う目的は国や地域によってさまざまである。そのため計測している水質項目や頻度、さらのその計測方法などが異なっているため国際河川間の客観的な水質の比較を行うことは難しい。国をまたぐ大陸河川が地球上には多く存在しているが、国によって異なった項目を用いているために水質比較を単純に行うことは難しい。特定の水質基準などの指標を元に統一指標で表すことによって水質を客観的に比較ができれば、より効率的な河川政策を行うことが期待できる。現在、国連環境計画地球監査システム (GEMS/Water) では統一指標の開発が試みられている。そこで、本研究ではその指標を大阪府の淀川・大和川に適用し土地利用や下水道処理率とどのような関連があるのか研究を行った。

キーワード: 統一水質指標, 水質, GEMS/Water, 土地利用

1. はじめに

国連教育科学文化機関 (UNESCO) の World Water Resources at the beginning of the 21st Century によると将来の人口増加によって水需要が増加するといわれている。一方、気候変動による水資源の偏在化、そして水質汚濁による水供給量の減少が今以上に深刻になると推測されていて、今後水の需要量と供給量の不均衡が生じ、世界の水問題が危機的な状況となる可能性が高いといわれている。

このような起こりうる水資源の危機に備えるため水量だけでなく質的なアセスメントを行うことのできる統一した水質指標が必要であると考え、複数の指標に対し統計分析を行い1つの統一水質指標の算出を行った。水質状況を統合水質指標で表すことで、複数の水質指標で水質状況を比較するよりも統括的・明示的に水質状況を把握することが出来ることが期待される。

特に本研究の対象としている日本では、毎年BODで河川の汚濁ランキングを行っているが、河川汚濁を単一水質指標だけで評価するのは難しく、特にBODで水質を評価することは、アンモニアなどの窒素化合物の酸化による酸素消費も含まれること、そ

して難分解性有機物は対象外であるといった問題があると提起されている。

また河川管理を効果的に行うためには住民参加が必要不可欠であるが、水質項目があまりにも細分化されており住民にとって分かりやすい指標がないとも言われている。このような状況に対し、においや見た目などを用いて水質を主観的に表す試みが行われている。しかし統計的な解析方法を用いて複数の水質指標を単一の統合指標で客観的に表すといった試みは未だ行われていない。

そこで本研究では、大阪の河川である淀川、大和川に対し現在開発中の全球統一指標 (WQI) を適用し、WQIが水質汚濁状況を反映していることを示し指標の有効性を確かめることを第一の目的とする。

次に、WQIがどのように土地利用とかかわっているのか特徴をとらえることは、将来のWQIを予測する手掛かりになると考え、土地利用とWQIがどのような関連があるのか知るため、淀川、大和川の土地利用の解析を行った。

これにより、土地利用変化、人口変化などの外的要因が統一指標に影響するのかが判断できるようになることが期待できる。

2. 研究方法

本研究では、日本の河川において国連で開発されている全球統一指標(WQI)算出を適用し、淀川・大和川に対し河川の水質の評価を行った。本章では、開発途中の統一指標の算出方法、土地利用解析方法について記す。

2.1 全球統一指標(WQI)について

WQIは国連環境計画GEMS/Waterで開発されている水質の評価を行うための統一指標である。複数の水質項目を設定した基準（例えばWHO水質基準）に対して変動値の項目数・頻度・幅を統計的に解析し、一つの指標にしたもので、多項目を総合した水質汚濁の程度が、客観的・直観的に明示されることができることがこの指標の特徴である。

2.2 水質基準・水質項目の選択

正確な統一指標を算出するためには、WQIの算出前に基準の選択・適切な水質項目をえらばなければならない。最初に基準を選択し、次にWQI算出に用いる水質項目を選び、最後にWQI算出を行う。

はじめに、比較対象となる水質基準を決める。本研究では、ほぼすべての水質項目に対し、基準を設定しているWHO飲料水基準を用いた。Table.1はWHO飲料水基準とEU、アメリカ、そして日本における水質基準を比較したものである。

次に水質項目・水質地点・対象年度の選択方法を行う。これは指標算出するための水質項目を選択することで自動的に決めることができる。

この研究では、世界の水質測定項目の20%が計測している水質項目をWQIの算出に使用するパラメータとした。Table.2に対象となる水質項目を示す。

また算出に使用する水質項目数や水質測定頻度に関しては、GEMS/Water本部にて採用されている4 By 4ルールデータ基準を満たしたものを算出に用いる水質項目とした。この4 By 4ルールとは、1年間に、最低4つの水質項目を測定し、さらに、その項目の測定回数が1年間に最低4回あるというものであるという基準である。

さらに、WHO飲料水基準では、水質測定項目を“許容”、“健康”、“微生物”のカテゴリーに分類している。このカテゴリー分類を利用し、WQIだけでなく“許容WQI（以下AWQI）”、“健康WQI（以下HWQI）”といった目的に応じた統一指標の算出も行うことができ

る。AWQIとは、味覚やにおいなどに影響を及ぼす可能性のある水質項目を用いた指標で、“快,不快”を示す統一指標である。

一方、HWQIは、人体に害を及ぼす可能性のある水質項目を用いた指標で、人体に影響のあるかないかを示す統一指標である。

Table.1 Comparison of Water Quality Standard

	WHO	EU	USA EPA	Japan
アンモニア	1.5mg/L	0.5mg/L		
塩素イオン	250mg/L	200mg/L	250mg/L	200mg/L
鉄	0.3mg/L	0.2mg/L	0.3mg/L	0.3mg/L
鉛	0.01mg/L	0.02mg/L	0.015mg/L	0.1mg/L
ヒ素	0.01mg/L	0.01mg/L	0.05mg/L	0.01mg/L
銅	2.0mg/L	2.0mg/L	1.3mg/L	1.0mg/L

Table.2 Water Quality parameters which are measured in over 20%countries

	受容性	健康	微生物
20%	アンモニウム態窒素	ヒ素	大腸菌群
	塩素イオン	ホウ素	
	鉄	カドミウム	
	硫酸イオン	鉛	
	ナトリウムイオン	銅	
	亜鉛	フッ素	
	pH	マンガン	
		水銀	
		硝酸態窒素	
		亜硝酸態窒素	

2.3 全球統一指標（WQI）の算出方法

選択した水質項目に対し、その水質項目の基準と比較し、比較した結果を統計分析し、分析結果を足し合わせ、WQIを算出する。その算出式は

$$WQI = 100 - \sqrt{\frac{(F_1)^2 + (F_2)^2 + (F_3)^2}{3}} \quad (1)$$

である。この数式におけるF1は基準を超えた水質項目の割合を表し、

$$F_1 = \left(\frac{\text{基準を超えた水質項目数}}{\text{総水質項目数}} \right) \times 100 \quad (2)$$

で求めることができる。

またF2は、基準を超えた水質計測数の割合を表し

$$F_2 = \left(\frac{\text{基準を超えた計測数}}{\text{総計測数}} \right) \times 100 \quad (3)$$

という計算式で求めることができる。

後にF3は、基準がどのくらい超えているかを表し、まず基準をこえた計測値に対してどのくらい基準値を超えているか（振幅；EX）を算出する。

$$EX = \frac{\text{計測値}}{\text{基準値}} - 1 \quad (4)$$

さらに求めたEX に対して正規化平方和(nse) を算出する。

$$nse = \frac{EX}{\text{総計測数}} \quad (5)$$

この正規化平方和を1 から100 までの範囲に変換したものがF3 である。

$$F_3 = \frac{nse}{0.01nse+0.01} \quad (6)$$

2.4 WQI評価方法

以上から求めたWQI を対応表と比べ、その水質を評価する。Table.3 は、算出値と評価との対応表である。WQI は0 から100 までの数値で算出される。また、求めた算出結果をIndex value と比較し“Excellent (大変よい)”から“Poor (大変悪い)”までの5 段階のスケールで評価する。

2.5 土地利用解析方法

淀川・大和川流域の人口分布等の基礎データの解析のため、国勢調査小地域という市町村単位地理属性情報を、さらに国土交通省・国土調査課の1 級河川GISデータから流域の土地利用・植生を知るために土地利用・植生に関する地理属性情報、流域の下水処理状況の把握に下水道処理区域の地理属性情報、流域地理属性情報それぞれを、フリーGISソフトのQGIS・GRASS GISを用いて流域毎の解析を行なった。またこれらの情報は独立行政法人統計センター[地図で見る統計]より収集した。

3. WQI結果

3.1 淀川における結果

淀川では4つの水質調査地点、枚方大橋・鳥飼大橋、赤川鉄橋・伝法大橋に対して1977年から2006年におけるWQIの算出を行った。それぞれの地点をPhoto. 1 に示す。

WQI算出項目は、亜硝酸性窒素、カドミウム、鉛、砒素、水銀、銅、亜鉛、クロム、ふっ素の10項目である。またWQI算出に用いた水質基準は日本の環境基準を用いた。WQI算出結果をFig.1に示す。

これより淀川流域のWQIはおおむね良好であるが、赤川大橋において1979年、1997年にWQIが悪化した。この背景はまず1979年のWQIの下降に関しては、亜硝酸窒素濃度の上昇によるもので、1997年の下降は銅イオン濃度の上昇によるものである。結果は、上

Table 3 Index Designation

Designation	Value	Description
Excellent	95-100	すべての項目が環境基準内に存在している
Good	80-94	環境基準を超える頻度は低く、また基準値を大幅に超えることはない。望ましい状況である。
Fair	65-79	環境基準を超過するが、基準値を大幅に超えることはない。望ましい状況から外れることがある程度
Marginal	45-64	環境基準を超過する頻度は高く、また基準値を大幅に超えることもしばしばある。望ましい状況からよく外れる。
Poor	0-44	環境基準をよく超過し、また基準値を大幅に超えることが多い。望ましい状況ではない。

流のWQIは良好であるが、下流のWQIは低いことが判明した。

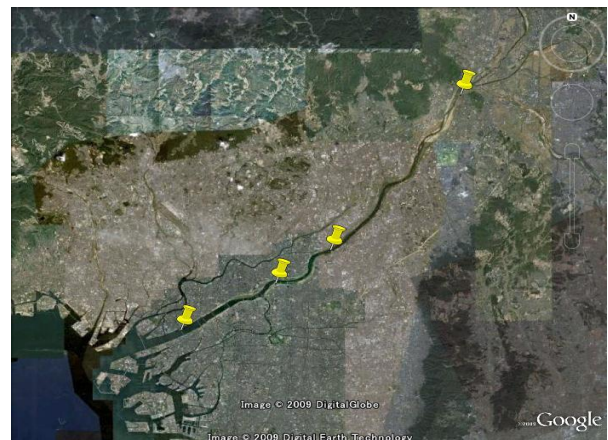


Photo.1 Study Point in Yodo River

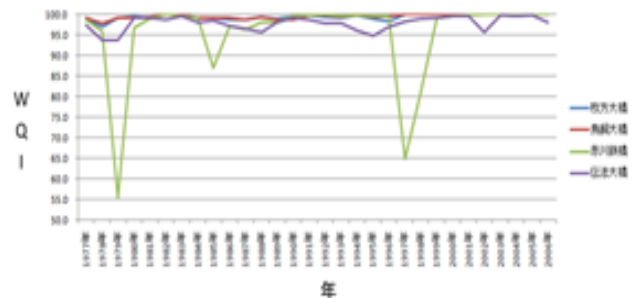


Fig.1 WQI in Yodo River

3.2 大和川における結果

大和川では、国豊橋、河内橋、浅香新取水口、遠野小野橋に対し、WQIの算出を行った。それぞれの地点はPhoto.2に示す。また算出対象とした年は1977年から2006年である。

WQI算出項目は亜硝酸性窒素、カドミウム、鉛、砒素、水銀、銅、亜鉛、クロム、フッ素の10項目である。またWQI算出に用いた水質基準は日本の環境基準を用いた。

WQI算出結果をFig.2に示す。これより大和川のWQIは年々悪化していることが分かった。さらに1980年のWQIの急激な低下は銅イオンによるもので、また近年のWQIの急激な低下は土壌にフッ素が残留していたことが原因である。



Photo.2 Study Point in Yamato River

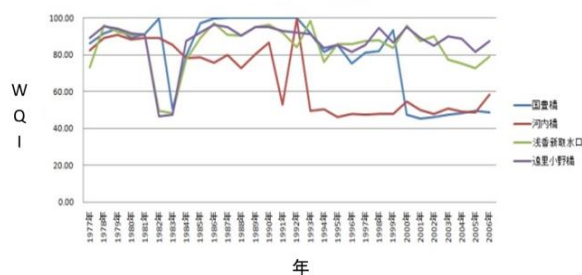


Fig.2 WQI in Yamato River

4. 淀川・大阪流域解析

大阪における淀川・大和川流域を比較することによって両河川の違いを明らかにし、その違いがどのようにWQIに影響を与えているのかを把握するため大阪における両河川の流域解析を行った。なお大阪における淀川・大和川流域の人口分布等を解析するのに用いたデータは2000年のデータである。この年で、大和川に対し流域解析を行うことは有意義といえる。また、今回流域解析に使用したソフトは

QGIS, GRASS GISという2つの地図情報システムを使用した。

4.1 淀川における流域解析

初めに、大阪における面積・人口の地理属性情報から大阪における淀川流域の部分だけを抽出を行い、Fig.3に示した。さらに、流域面積・人口のファイルと、下水道処理面積のファイルを交差させることによって、大阪の淀川流域における下水道処理面積・人口の図を作成しFig. 4に示した。求められたFig.3, 4より、大阪における淀川流域面積は1018km²でこれは大阪府の面積の52%を占めているのに対し、人口は6168757人でこれは大阪府人口の70%を占めている。一方下水道処理地域は19km²で、その処理人口は3441558人である。

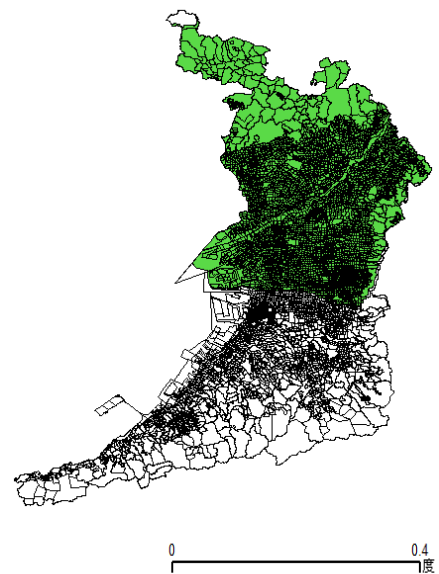


Fig.3 Yodo River Watershed in Osaka

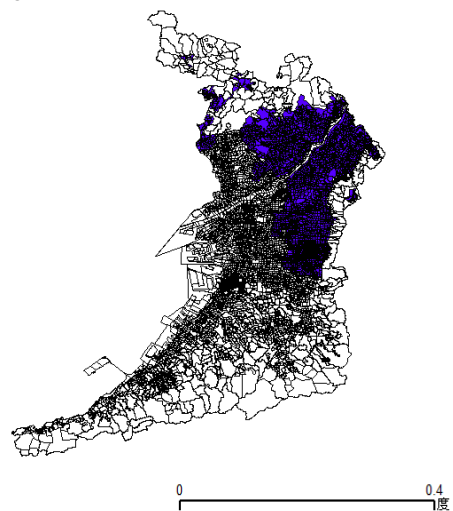


Fig.4 Sewerage treatment area in Yodo river Watershed

また、大阪府の淀川流域における土地利用・植生に関する図をFig.5に示す

その土地利用の割合をFig.6に示す。これによると大阪府における淀川流域で最も面積を占めているのは宅地で33%,次に水田は9%, また畑は2%の割合であった。

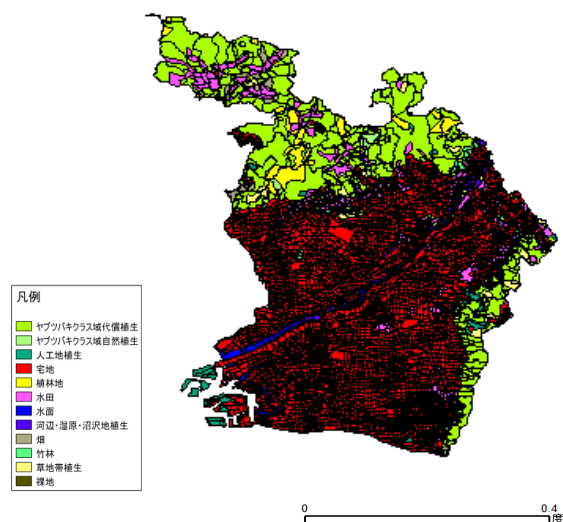


Fig.5 Land use and Vegetation in Yodo River watershed

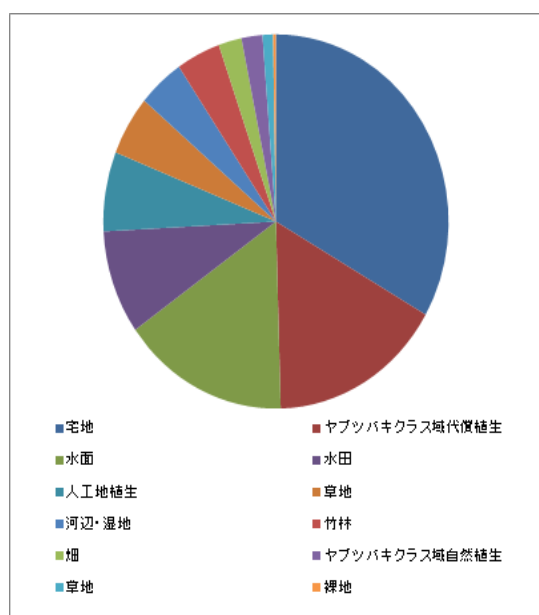


Fig.6 Pie chart of Land use and Vegetation in Yodo River watershed

4.2 大和川における流域解析

初めに、大阪における面積・人口の地理属性情報から大阪における大和川流域の部分だけを抽出を行い、Fig.7に示す。さらに、流域面積・人口のファイルと、下水道処理面積のファイルを交差させることによって、大阪の淀川流域における下水道処理面積・人口の図を作成しFig.7に示す。大阪における大和川流域面積は507km²でこれは大阪府の面積の25%を

占めているのに対し、人口は1381912人でこれは大阪府人口の16%を占めている。

一方、下水道処理地域は456km²で、その処理人口は1062411人である。

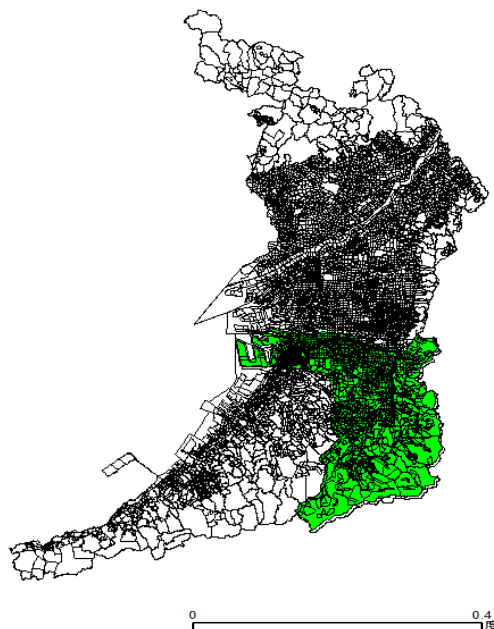


Fig.7 Yamato River watershed in Osaka

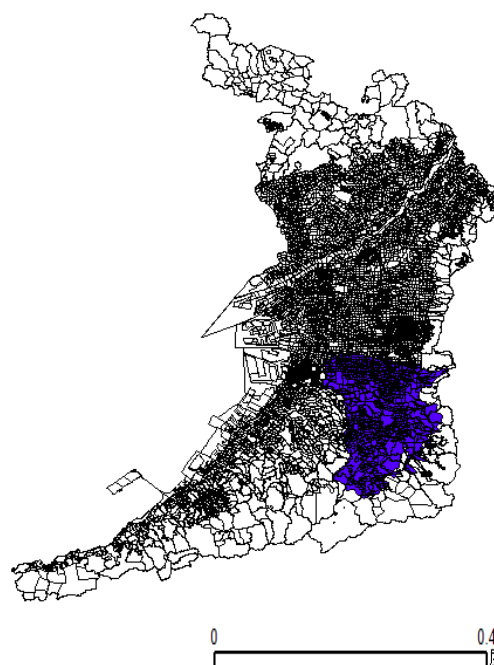


Fig.8 Sewerage treatment area in Yamato River watershed

一方下水道処理地域は456km²で、その処理人口は1062411人である。また、大阪府の大和川における土地利用・植生に関する図をFig.9に示す。

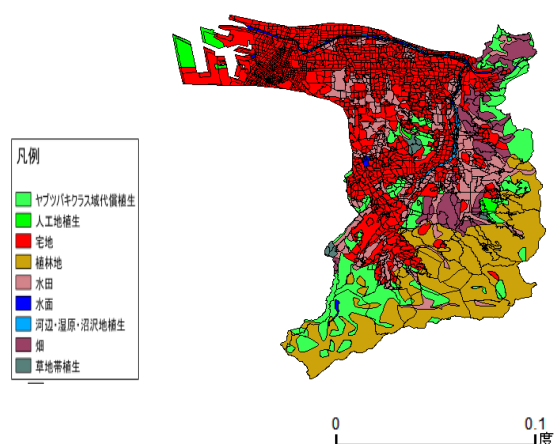


Fig.9 Land use and Vegetation in Yamato River watershed

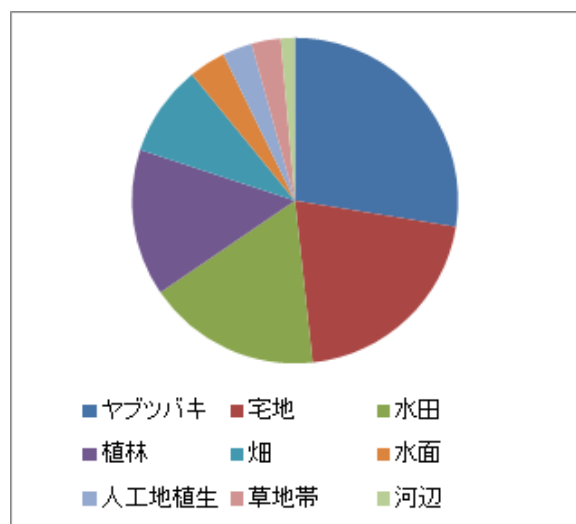


Fig.10 Pie chart of Land use and Vegetation in Yamato River watershed

また、その土地利用の割合の円グラフをFig.10示す。これによると大阪府における大和流域で宅地は21%,また水田は17%, また畑は9%の割合であった。

5. まとめ

大和川のWQIは淀川のそれより低いことは、宅地の比率によるものではないかと推測できる。これら

から排出される排水が水質に何らかの影響を与えているのではないかと推測する。

また、淀川流域において亜硝酸塩濃度の上昇によってWQIが低下したことがあったが、高度経済成長期の宅地造成の急増、また宅地増加に伴う下水道処理の遅れによる排水の増加、また未処理排水の増加によるものではないかと推測することができる。

一方、下水道処理率の差が、なんらWQIに影響を与えていないことに疑問を感じた。つまり淀川のWQIは大和川のそれより良いのに下水道処理地域は淀川のほうが低いという結果に至ったことから、大阪地区のWQIの主要因は今回土地解析を行っていない工場からのものではないかと推測する。今後工場立地などとWQIがどのような関連しているのかさらに研究を要する。

参考文献

- UNESCO IHP 1999. Summary of the Monograph “World Water Resources at the beginning of the 21st Century” . (<http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/shiklomanov/summary/html/summary.html>)
- UNEP GEMS/Water Programme..2007. Global Drinking Water Quality Index Development and Sensitivity Analysis Report.
- CCME. 2001. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index 1.0, User’s manual. In: Canadian Environmental quality guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg, Manitoba. (http://www.ccme.ca/assets/pdf/wqi_usermanualfctsht_e.pdf)
- CCME. 2005. Canadian Environmental Sustainability Indicators. Freshwater Quality Indicator: Data Sources and Methods. Catalogue no. 16-256-XIE. (<http://www.statcan.ca/bsolc/english/bsolc?catno=16-256-XIE#formatdisp>)
- UNEP GEMS/Water Programme. 2005. Workshop report: Development and use of global water quality indicators and indices. Vienna, Austria 4-6th May.2005. (http://www.gemswater.org/publications/pdfs/indicators_workshop_report.pdf)
- 新矢 将尚: “河川水質を取り巻く近年の動向”. 生活衛生, Vol. 48, pp.261-268 (2004)

Water Quality Indices Applies for Japanese River

Tomoko TERAMOTO*, Yosuke YAMASHIKI and Kaoru TAKARA

* Graduate School of Engineering, Kyoto University

Synopsis

A composite index is developed to assess source water quality at global scale. In this study we have testified application of WQ indices developed by GEMS/Water Program. The approach for development was three-fold: (1) to select guidelines from the World Health Organization that are appropriate in assessing global water quality for human health, (2) to select variables that have an appropriate guideline and reasonable global coverage, and (3) to determine, on an annual basis .The developed index includes frequency and extent to which variables exceeded their respective WHO guidelines, at each individual monitoring station. In this study, we applied WQI to Japanese River. After Calculating sewerage and land use and vegetation area are calculated using GIS to find the connection between WQI and sewerage or land use and vegetation.

Keywords: Water Quality Index, water quality, Gems/Water, land use