LOIS データベースと GIS を活用した 東部イングランドの河川水質分析

小 口 高* JARVIE, Helen P.** NEAL, Colin **

Analysis of River Water Quality in the Humber Catchment Using the LOIS Database and GIS

Takashi OGUCHI *, Helen P. JARVIE ** and Colin NEAL **

Key words : river water quality, East England, land properties, GIS, database

キーワード : 河川水質, 東部イングランド, 土地条件, GIS, データベース

I. はじめに

河川の水質は水利用の可否や生活環境の健全さを規定する。このため、世界各国で官公庁などにより河川水質の継続的調査が行われてきた。この過程で蓄積されたデータは、水質の地域性とその規定要因の分析に有用である。しかし、従来はデータが非公開か、多量のデータが紙媒体で公開されている場合が多く、データの総合的な解析はあまり進んでいなかった。

河川の水質は流域の自然・人文環境に強く規定される。この関係の解明には地理情報システム (GIS) が有効である。たとえば、デジタル標高モデル (DEM) と GIS を用いて、水質観測地点の上流域を半自動的に抽出し、流域の土地利用や地質と河川水質との関連を調べた研究が行われている (Richards and Kump, 1997; Wang and Yin, 1997 など)。また、農地に散布された肥料や殺虫剤の成分のように、広域から河川に供給される物質の移動過程をモデル化する際にも GIS が利用さ

れている (Petach *et al.*, 1991; Poiani *et al.*, 1996 など)。これらの研究の大半は、研究者が独自にデジタル・データを整備することが可能な中～小流域を対象としている。しかし、官公庁の業務や研究プロジェクトなどを通じてデータのデジタル化が進むと、大流域に関する研究も可能となる。

そこで本研究では、最近整備された東部イングランドの河川水質データベースと GIS を活用し、大流域における水質の地域性とその規定要因の解明を試みた。本研究は、東京大学空間情報科学研究センターと英国 Centre for Ecology and Hydrology が 1998 年より実施している共同研究 (Neal *et al.*, 1999; Oguchi *et al.*, 2000; Jarvie *et al.*, 2000, 2002) の一部である。

II. LOIS データベース

英国では 1992 年から 6 年間、LOIS (Land-Ocean Interaction Study) と呼ばれる大規模な研究プロジェクトが行われた。本プロジェクトの目的は、河川流域～海域の物質移動とその生態系へ

* 東京大学空間情報科学研究センター

** 英国生態学・水文学研究所

* Center for Spatial Information Science, the University of Tokyo

** Centre for Ecology and Hydrology, United Kingdom

の影響の解明であり (Leeks and Jarvie, 1998), 東部イングランドにおける河川水質の解析が主要な課題の一つとされていた (Neal *et al.*, 1997)。この課題を検討するために, 東部イングランドにおける過去数十年間の河川水質データを収録したデジタル・データベースが Institute of Hydrology (現在は Centre for Ecology and Hydrology に統合) において構築された (Tindall and Moore, 1997)。このデータベースには, 英国 Environmental Agency などが 7,000 以上の地点で収集した膨大なデータが収録されており, 観測地点, 観測日時, 観測値が統一されたフォーマットでデジタル化されている。本データベースは LOIS プロジェクトの参加者に公開されており, SQL スクリプトを利用するとデータの抽出や集計をオンラインで実行できる。また, 地形, 地質, 土地利用, 気候などに関する基本的なデジタル・データも収録されている。

III. データ解析

上記のデータベースと GIS を用いて, 河川水質とその規程要因に関する解析を行った。研究対象流域は, 東部イングランドで最大の面積 (約 24,000 km²) を持ち, 英国の河川の中で北海に最

も多量の淡水を供給しているハンバー川流域である (図 1)。この流域には, ①ペニン山脈に位置する自然度が高い地域, ②バーミンガムやシェ

図 1 ハンバー川流域の概要。

図 2 ハンバー川流域におけるアンモニアの平均濃度分布。

フィールドのような都市域，③河川沿いの低地に沿う農業地域といった，特徴が大きく異なる地域が混在しており，河川水質が多様な要因に規定されていると予想される。

1) 水質分布図の作成

最初に，分布図を用いて河川水質の地域性を把握した。ハンバー川流域に位置する 4,780 ヶ所の水質観測地点から，1986 年～ 1996 年に観測が 50 回以上行われた地点を選び，観測された水質成分の濃度の平均値を算出した。対象とした水質成分は，亜鉛，アルミニウム，アンモニア，塩素，カドミウム，カルシウム，クロム，窒素酸化物，鉄，銅，鉛，ニッケル，浮流物質，ホウ素，マグネシウム，硫酸である。これらの 16 成分を選ぶ際には，データの量，空間分布，および水質研究における重要性を考慮した。次に，各成分の濃度の平均値および浮流物質濃度で基準化した平均値の空間分布を可視化した（図 2）。その結果，次の点が明らかになった。①生活・工場排水の影響により，多

図 3 ハンバー川流域北西部（ペニン山脈内）における流量観測点，全流域，近隣域（距離 10 km）の例。

表 1 6 成分の濃度と全流域・近隣域の土地条件との相関。

土地条件		塩素		ホウ素		硫酸		カルシウム		クロム		亜鉛	
		全流域	近隣域	全流域	近隣域	全流域	近隣域	全流域	近隣域	全流域	近隣域	全流域	近隣域
人口	人口密度	+++	++	+++		+++				+++	+++		++
土地利用	都市域	+++	+++	+++	++	+++	+			+	+++		
	居住地	+++	+++	+++	++	+++	++				+++		++
	農地	++						--	--	--	--	--	--
	酪農		--		-		-						
	放牧	--	-			--	-		++	++			+
	全農牧業	--	--	--	--	-	--			--	--	--	--
	針葉樹林							+++					+++
	落葉樹林		--										
	高地植生	--		--		--							
	草地	--	--		--	--	--		++				
地質	湿原	--	--	--	--	--	--		++	--			+++
	挟炭層	++								+++	+++	++	+
	石炭紀石灰岩	+++	--	--		--	--		++	--			
	全石炭系	+++							+	+++	+++	++	++
	ジュラ紀・二疊紀												
	砂岩									-			
	標高	--		--		--			+++		+		+++
	勾配	--				--			++		+		+
	降水量	--	--	-		--	-		+				

+++：有意度 99%の正の相関；++：有意度 95%の正の相関；+：有意度 90%の正の相関
---：有意度 99%の負の相関；--：有意度 95%の負の相関；-：有意度 90%の負の相関

表 2 全流域の土地利用，土地利用と降水量との商，土地利用と降水量との積と 6 成分の濃度との相関。

水質成分	独立変数	土地利用変数：1 個		土地利用変数：2 個		土地利用変数：3 個	
		変数	r ²	変数	r ²	変数	r ²
塩素	土地利用のみ	U	0.556	A, U	0.593	A, U, C	0.596
	土地利用 / 降水量	U	0.642	A, U	0.650	A, U, C	0.651
	土地利用 / 有効降水量	U	0.688	U, C	0.688	A, U, C	0.688
	土地利用 × 降水量	U	0.414	A, U	0.486	A, U, C	0.492
	土地利用 × 有効降水量	U	0.268	A, U	0.314	A, U, C	0.334
ホウ素	土地利用のみ	U	0.608	U, C	0.623	A, U, C	0.633
	土地利用 / 降水量	U	0.701	U, C	0.713	A, U, C	0.713
	土地利用 / 有効降水量	U	0.717	A, U	0.742	A, U, C	0.749
	土地利用 × 降水量	U	0.444	U, C	0.479	A, U, C	0.500
	土地利用 × 有効降水量	U	0.280	U, C	0.367	A, U, C	0.367
窒素酸化物	土地利用のみ	A	0.442	A, U	0.591	A, U, C	0.601
	土地利用 / 降水量	A	0.503	A, U	0.665	A, U, C	0.669
	土地利用 / 有効降水量	A	0.541	A, U	0.717	A, U, C	0.718
	土地利用 × 降水量	A	0.336	A, U	0.465	A, U, C	0.487
	土地利用 × 有効降水量	A	0.173	A, C	0.252	A, U, C	0.315
アルミニウム	土地利用のみ	U	0.222	A, U	0.320	A, U, C	0.345
	土地利用 / 降水量	U	0.161	A, U	0.285	A, U, C	0.297
	土地利用 / 有効降水量	C	0.125	A, U	0.266	A, U, C	0.270
	土地利用 × 降水量	U	0.290	U, C	0.380	A, U, C	0.401
	土地利用 × 有効降水量	U	0.351	U, C	0.437	A, U, C	0.449
クロム	土地利用のみ	A	0.127	A, U	0.222	A, U, C	0.223
	土地利用 / 降水量	A	0.106	A, U	0.168	A, U, C	0.171
	土地利用 / 有効降水量	A	0.086	A, U	0.130	A, U, C	0.136
	土地利用 × 降水量	U	0.172	A, U	0.288	A, U, C	0.289
	土地利用 × 有効降水量	U	0.285	A, U	0.345	A, U, C	0.345
銅	土地利用のみ	U	0.230	A, U	0.249	A, U, C	0.256
	土地利用 / 降水量	U	0.188	A, U	0.214	A, U, C	0.221
	土地利用 / 有効降水量	U	0.159	A, U	0.189	A, U, C	0.197
	土地利用 × 降水量	U	0.269	A, U	0.280	A, U, C	0.288
	土地利用 × 有効降水量	U	0.274	A, U	0.291	A, U, C	0.305

有効降水量は降水量から推定蒸発散量を差し引いたもの。A：農地，C：針葉樹林，U：都市的土地利用

くの成分の濃度が都市部で上昇する。②潮汐による粒子の巻き上げの影響により，主に浮流で運ばれる成分の濃度が下流部で上昇する。③炭田地域からの排水，鉍毒による土壤汚染，肥料の投入なども特定の成分の濃度を上昇させている。

2) 上流域の自然・人文環境と水質との関係

水質観測地点の中から代表的な 60 ケ所を選定し，上流域の特性と水質との関係を検討した。水

平解像度 50 m の DEM を用いて上流域を抽出し，さらに上流域の中で観測地点からの距離が 10 km 以内の範囲を近隣域として抽出した（図 3）。これらの範囲の地形，地質，気候，土地利用，人口と，観測された水質との関係について統計解析を行った。その結果，以下の知見が得られた。①主成分分析によると，流域の土地条件は，低標高の農地，都市域，高地，針葉樹林地の 4 要素で代表できる。

表 3 流域内の特定の範囲における居住地および農地の構成比率と 6 成分の濃度との相関（重回帰係数， r^2 ）

水質成分	流域内の対象範囲						全流域
	主要河川沿い			観測地点の近隣			
	250 m 以内	500 m 以内	6 km 以内	9 km 以内	12 km 以内	15 km 以内	
アルミニウム	0.414	0.380	0.522	0.632	0.725	0.789	0.347
アンモニア	0.566	0.534	0.361	0.352	0.362	0.409	0.489
ホウ酸	0.717	0.763	0.185	0.221	0.280	0.372	0.807
ニッケル	0.549	0.532	0.257	0.314	0.323	0.348	0.504
浮流物質	0.142	0.137	0.186	0.256	0.276	0.260	0.137
硫酸	0.362	0.385	0.164	0.182	0.188	0.233	0.410

太字は最も高い相関を表す。

このうち、農地および都市域の構成比率が水質を強く規定する。②塩素，ホウ素，硫酸などの濃度は、近隣域よりも上流域の特性と強く関連し、亜鉛，カルシウム，クロムなどの濃度は近隣域の特性とより強く関連する（表 1）。③流域内の全降水量と土地利用比率を独立変数とし、水質を従属変数とする多重回帰を行った。その結果、塩素，ホウ素，窒素などの濃度は降水量と負の相関を持つが、アルミニウム，クロム，銅などの濃度は降水量と正の相関を持つことが判明した（表 2）。④上記の結果は、各成分の主要運搬様式（溶流，浮流など）の相違を反映している。すなわち，浮流で運ばれる成分は主に近隣から供給され，高水時に多く運ばれるが，溶流で運ばれる成分は広域から供給され，高水時には希釈効果により濃度が低下する。

3) 近隣域の範囲を変えた検討

上記の検討では，水質観測地点から 10 km 以内の上流域を近隣域と定義したが，この距離の値は便宜的なものである。そこで，観測地点からの距離が異なる近隣域を別に定義し，そこでの土地条件と水質との関係を調べた。また，流域内の主要河川からの距離が一定値よりも小さい範囲（バッファ）を抽出し，同様の検討を行った。その結果，土地条件と水質との関係について，より詳しい知見が得られた。たとえば，浮流物質やアルミニウムの濃度は，流域のうち観測地点から 12～15 km 以内の土地利用に強く規定される。また，アンモ

ニアやニッケルの濃度は，主要河川から 250 m 以内の範囲の土地利用と最も高い相関を持つ（表 3）。

IV. おわりに

河川水質に関する地理学的研究では，研究者自身による採水と分析に基づく詳細な研究とともに，俯瞰的な手法を用いた広域のデータ解析が必要である。本研究では，後者のタイプの解析を東部イングランドについて行うために，デジタル・データベースと GIS を利用した。その結果，多量のデータの高速処理と，データの集計単位の柔軟な設定が可能となり，従来は労力的に困難であった多様な解析を実施できた。今後，さまざまな地域について同様の研究を行うことにより，河川水質の地域性に関する理解が深まることが期待される。このためにも，広域の河川水質に関するデジタル・データベースの整備と公開が望まれる。

謝 辞

日本と英国の相互訪問を通じて研究を発展させるために，平成 13 年度東京地学協会研究・調査助成金を使用した。また，東京大学空間情報科学研究センターの原美登里さんと（株）インフォマティックスの小松安希さんには，データの整理と解析を支援していただいた。記して謝意を表します。なお，今回の相互訪問で行われた研究の中には，最終結果が未確定のものがある。これについては今後の検討を経て別稿で公表することをご了承願いたい。

文 献

- Jarvie, H.P., Oguchi, T. and Neal, C. (2000): Pollution regimes and variability in river water quality across the Humber catchment: Interrogation and mapping of an extensive and highly heterogeneous spatial dataset. *The Science of the Total Environment*, **251/252**, 27-43.
- Jarvie, H.P., Oguchi, T. and Neal, C. (2002): Exploring the linkages between river water chemistry and watershed characteristics using GIS-based catchment and locality analyses. *Regional Environmental Change*, in press.
- Leeks, G.J.L and Jarvie, H.P. (1998): Introduction to the Land-Ocean Interaction Study (LOIS): Rationale and international context. *The Science of the Total Environment*, **210/211**, 5-20.
- Neal, C., House, W.A., Leeks, G.J.L. and Marker, A.H. (1997): UK fluxes to the North Sea, Land Ocean Interaction Study (LOIS): River basins research, the first 2 years 1993 - 1995. *The Science of the Total Environment*, **194/195**, 1-4.
- Neal, C., Jarvie, H.P. and Oguchi, T. (1999): Acid available particulate trace metals associated with suspended sediments in the Humber rivers: A regional assessment. *Hydrological Processes*, **13**, 1117-1136.
- Oguchi, T., Jarvie, H.P. and Neal, C. (2000): River water quality in the Humber Catchment: An introduction using GIS-based mapping and analysis. *The Science of the Total Environment*, **251/252**, 9-28.
- Petach, M.C., Wagenet, R.J. and DeGloria, S.D. (1991): Regional water flow and pesticide leaching using simulations with spatially distributed data. *Geoderma*, **48**, 245-269.
- Poiani, K.A., Bedford, B.L. and Merrill, M.D. (1996): A GIS-based index for relating landscape characteristics to potential nitrogen leaching to wetlands. *Landscape Ecology*, **11**, 237-255.
- Richards, P.L. and Kump, L.R. (1997): Application of the geographical information systems approach to watershed mass balance studies. *Hydrological Processes*, **11**, 671-694.
- Tindall, C.I. and Moore, R.V. (1997): The Rivers Database and the overall data management for the Land Ocean Interaction Study Programme. *The Science of the Total Environment*, **194/195**, 129-135.
- Wang, X. and Yin, Z.-Y. (1997): Using GIS to assess the relationship between landuse and water quality at a watershed level. *Environment International*, **23**, 103-114.