

LOIS プロジェクト—東部イングランド～北海における水文過程の総合的研究

LOIS: a large-scale multidisciplinary research programme to investigate water, sediment and chemical fluxes from east coast British rivers to the North Sea

小口 高 (東京大学・空間情報科学研究センター)

ヘレン=ジャービー, コリン=ニール (英国生態学・水文学研究所)

Takashi OGUCHI (Univ. Tokyo), Helen P. JARVIE, Colin NEAL (Centre for Ecology and Hydrology, UK)

キーワード: 英国, LOIS プロジェクト, 河川環境, GIS

Keywords: UK, LOIS, river environment, GIS

1. はじめに

英国では、1993～1998年に、Land Ocean Interaction Study (LOIS) と呼ばれる研究プロジェクトが行われた。LOIS は、英国の河川流域と海洋との相互作用を、物質循環の観点から解明することを目的としている。LOIS は、過去に英国で行われた自然環境に関する総合的研究の中でも最大規模であり、50 億円を超える予算が投入された。取り上げられた課題が多様で、研究者の取り組みも活発であったため、LOIS は国際的に注目を集めた (Leeks and Jarvie, 1998)。

筆頭筆者の小口は、1997～98年に文部省在外研究員として英国に滞在した際に、LOIS の中核メンバーである Colin Neal に出会い、LOIS に参加する機会を得た。その後、Colin Neal の共同研究者である Helen Jarvie と共に、LOIS の成果を活用した研究を継続的に進めている (概要は小口ほか、2002を参照)。小口は LOIS に参加した唯一の日本人であるので、この場をお借りして LOIS の概要を日本語で紹介する。

2. LOIS の目的

LOIS は、陸域～海域の物質とエネルギーの移動過程を、特に沿岸域に注目して解明し、モデル化することを目的とする (NERC, 1992)。検討対象には、河川水・地下水・海洋水による物質・エネルギー移動とともに、大気と水との間の移動も含まれる。また、物質移動のフラックスを規定する物理的、化学的、生化学的、生物学的過程を詳しく検討した。英国は海洋国であり、海岸線が長く大陸棚が広いので、LOIS のような研究に適した地域である。

LOIS の最も主要な研究対象は、現在生じている物質・エネルギー移動であるが、過去および未来に関する検討も行われた。まず、河川流域や海底の堆積物を採取して分析し、完新世、とくに過去 2,000 年間の物質移動を検討した。この時期には、農業や都市の発達、化石燃料の利用、産業革命などにより、自然の作用に徐々に人為の影響が加わり、多量の物質が陸域から海洋に運ばれるようになった。したがって、この時期のデータは、物質・エネルギー移動に関与する自然と人為の影響を分離して検

討する際に重要となる。また、物質・エネルギー循環における沿岸域の機能をモデル化し、そのモデルを用いて今後 50～100 年間における沿岸域の環境変化を予測した。このような予測により、環境の効率的かつ経済的な管理が可能となる。

LOIS のもう一つの目的は、伝統的に分かれて仕事をしてきた研究者の融合である。水資源管理、水質解析、水文学、地形学、地質学、環境科学、生物学、海洋学といった多様な分野の研究者が LOIS に参加し、その所属も民間企業、政府研究機関、民間研究機関、大学と多様であった。また、これらの分野と機関にまたがった学際的な共同研究が重視された。その結果、LOIS の成果の多くが 3 名以上の共著として公表された。

さらに LOIS は、国際プロジェクトである IGCP (International Geosphere-Biosphere Programme) に対する英国からの貢献という意義も持っている。特に IGCP のサブ・プロジェクトである LOICZ (Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone) とは共通点が多く、密接に関連している。

LOIS が生み出した主要な成果は、対象地域における自然・人文環境の総合的データベース、土砂・栄養分・有機物・汚染物質などの移動を表すフラックス・モデル、および多数の研究論文である。

3. LOIS の基本構造

LOIS には RACS, SES, NORMS, LOEPS という 4 つのサブ・プロジェクトがある (NERC, 1992)。これらは、河川流域～沿岸域～外洋域といった広域の研究を分担して効率的に進めることと、対象となる時間スケールの相違を考慮して設定された (図 1)。

RACS (The Rivers, Atmosphere, Estuaries and Coasts Study) は、LOIS の中核ともいえるプロジェクトで、河川、大気、海洋の物質循環の解明を目指している。水、土砂、有機物、化学成分といった各種物質の移動を計測するとともに、移動時に生じる化学的・生物学的変化と物質の移動量を規定する要因を解明し、将来の土地利用変化や海面変化の影響を予測した。とりわけ、河川とエスチュアリーの間、海面と大気の間、および海岸線とい

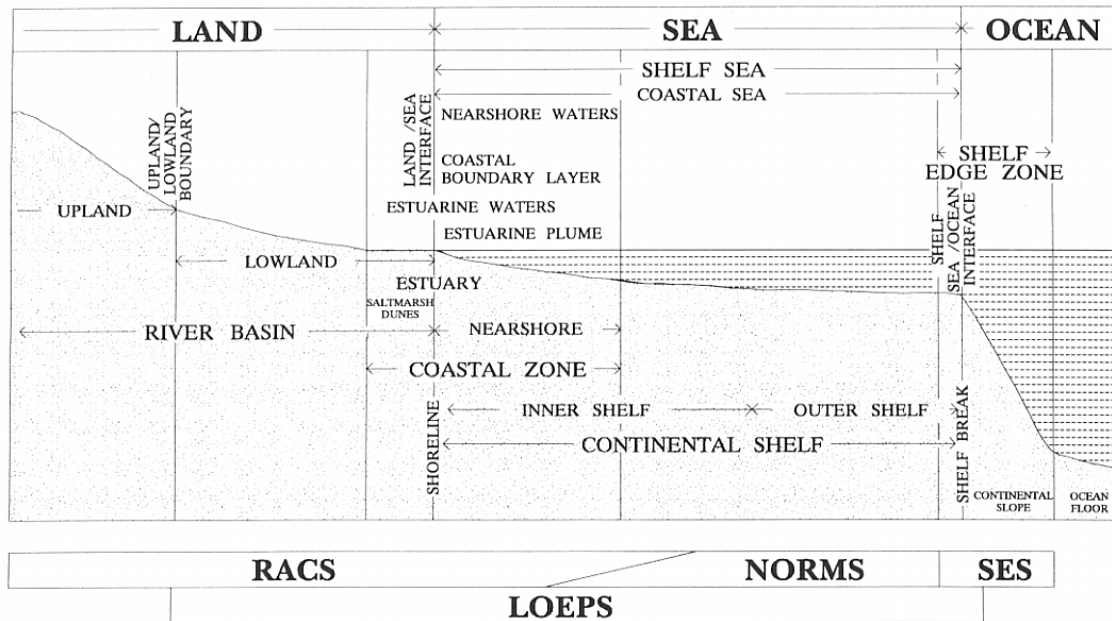


図1 河川流域～沿岸域～外洋域にみられる地学・水文現象と各サブ・プロジェクトの対象範囲(NERC, 1992).

った事象の境界における物質・エネルギー移動の解明を重視している。RACSの研究対象地域は、イングランド中部の東西約300 km、南北約350 kmの範囲である(図2)。特に、東部イングランドのツイード川流域～ハンバー川流域～グレート・ヤーマスにかけての地域では、RACS(R)と呼ばれる河川に関する集中的な研究が行われた(図3)。RACS(R)では、既存データの編集と解析を行うとともに、下流部での詳細な観測を行うために、本プロジェクト独自の観測地点を新たに設置した。

SES(The Shelf Edge Study)は、大陸棚と海洋の間の物質循環を解明するプロジェクトで、アイルランド北方の北大西洋における約100 km四方の範囲を対象としている(図2)。特に、海水中の浮流物質と溶流物質が大陸棚上に沈積する過程の解明を重視し、その過程を1 km程度の空間解像度を持つ三次元モデルによって再現した。本プロジェクトで用いられた海流や土砂移動に関するデータは、主に船を用いた観測によって収集された。

NORMS(The North Sea Modelling Study)では、陸地と海洋の特徴、完新世海面変動、大陸棚の地形発達などを考慮しながら、北海の物質移動と水質のモデル化を行った。本プロジェクトでは、リモートセンシングを用いて現在の浮遊物質や汚染物質の分布を把握した。また、その結果と、堆積物のコアの分析から得られる過去に関する情報とをGISを用いて統合した。NORMSの対象地域はRACSと共通である。

LOEPS(The Land-Ocean Evolution Perspective Study)も、RACSおよびNORMSと同一の地域を扱うプロジェクトであり、完新世、特に過去2000年間における現象の時空間変化の解明を目的とする。本プロジェクトで

も、堆積物などに関する情報を整理してデータベース化し、それをを用いて過去の土砂移動過程などを分析した。

上記の各サブ・プロジェクトは、データの収集と編集を行うコア・プログラムと、データを解析して個々の問題に対処する課題プログラムとで構成される。後者は前者の発展に依存するため、相対的に遅れて始まった。さらに、研究の後期では、データベースと解析結果とを関係づけながらモデルを構築する試みも行われた。

4. LOISにおける河川水質研究

前記のように、RACS(R)はLOISの中心的なプロジェクトであり、その中でも河川による土砂移動と水質に関する研究が大きな比率を占めていた。ここでは、筆者らが参加したRACS(R)における河川水質研究の概要を、LOISに関するThe Science of the Total Environmentの特集号3巻(1997, 1998, 2000)を参考にまとめた。

前記のように、RACS(R)の主要対象地域は、東部イングランドから北海に注ぐ河川の流域である。これらの流域には多数の都市が存在し、多様な汚染物質を北海に供給している。とりわけ、ハンバー川流域は英国有数の工業地帯である南部ヨークシャーを含み、産業革命時の鉱工業による土壌汚染といった歴史的な影響もあるため、汚染度の高い水を多量に供給している。一方、その北方に位置するツイード川流域のように、汚染度の低い水を供給する自然度の高い流域もある。さらに、農業活動や地質も、この地域の河川水質と北海への物質供給を規定している(Robson and Neal, 1997a)。したがって、RACS(R)を通じて、多様な環境下における河川水質の特徴が明らかにされ、その成果は英国以外の地域にも応用可

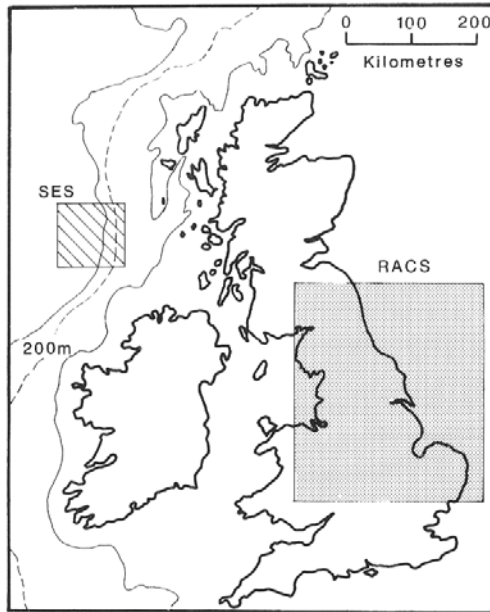


図 2 RACS および SES の対象範囲 (NERC, 1992).

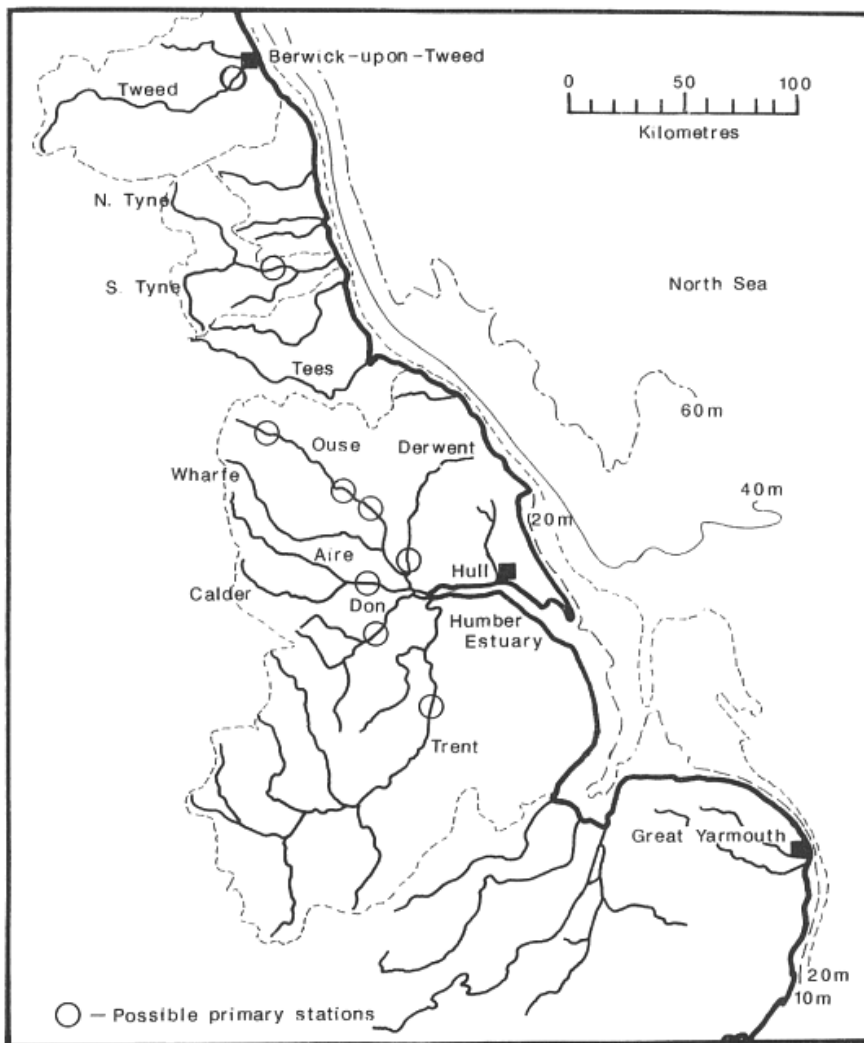


図 3 東部イングランドにおける RACS(R) の中心的な研究地域 (NERC, 1992).

能である。

RACS(R)以前にも、英国の河川水質を総合的に解析するプロジェクトがいくつか行われたが、その大半は自然度の高い流域を対象にしていた。たとえば、1980年代にヨーロッパで行われた、酸性雨の影響に関するプロジェクトSWAP(The Surface Water Acidification Programme)では、英国の湖水地域が主な研究地域のひとつとされた。一方、RACS(R)は、人口が多い下流域における人為の影響に注目している。

RACS(R)の大きな成果の一つは、河川の水質に関する総合的なデータベースの構築である。英国ではEnvironment Agencyが長年にわたって河川水質のデータを収集してきたが、地方別にデータの記載方法が異なり、データがデジタル化されていなかったために、水質の広域的解析は困難であった。そこで、英国生態学・水文学研究所(Centre for Ecology and Hydrology, LOIS実施時にはInstitute of Hydrology)では、これらの既存の水質データを統合したデジタル・データベースを構築し、LOISに貢献した(Moore, 1997; Tindall and Moore, 1997)。このデータベースとGISを活用すると、水質の空間分布を従来よりも非常に高い解像度で解析できる(Robson and Neal, 1997b; Neal et al., 1999; Oguchi et al., 2000)。また、水質分布に基づいて代表的な観測地点を抽出し、データの特徴を詳細に分析するとともに(Jarvie et al., 2000a)、土地利用、地形、降水量といった上流域の特徴と水質との関係も検討された(Jahiruddin et al., 1998; Jarvie et al., 2002)。後者では、GISの流域抽出機能、バッファリング、および指定領域内のデータ計測機能が有効に活用された。

前記のように、LOISでは独自の河川水質観測地点を設置し、従来よりも詳細なデータを収集した(Evans et al., 1997; Leeks et al., 1997)。この成果を活用し、水質の時間変化や成分濃度どうしの相関を詳しく検討した研究が行われた(Jarvie et al., 1997a, 2000b, c, d; Neal et al., 1997a, b, 1998a, b, 2000a, b, c, d)。とりわけ、河川水中の窒素、リン酸、二酸化炭素に関する研究が数多く行われた(House and Warwick, 1998a, b; House et al., 1997; Jarvie et al., 1998; Neal et al., 1998c, d, 2000e; Uncles et al., 1998)。さらに、大気から河川水への窒素酸化物やアンモニアの供給過程の分析(Smith et al., 1997)、家畜の洗浄水が河川の水質に及ぼす影響の把握(Virtue and Clayton, 1997)、汚染源の分布と水の流出過程に基づく水質分布のシミュレーション(Lewis et al., 1997; Eatherall et al., 1998; Whitehead et al., 1998)なども行われた。

RACS(R)の水質研究を通じて、東部イングランドから北海に流入する汚染物質の量が推定できるようになった(Webb et al., 2000)。北海には、東側の大陸ヨーロッパからも多量の汚染物質が供給され、それらが海底に沈積している(Jarvie et al., 1997b)。今後、この過程が生物を

含む海洋環境に及ぼす影響を詳しく検討する必要がある。RACS(R)は、このための基礎データを提供したとみなされる。

5. おわりに

LOISは河川水、海洋水、および大気による物質移動に注目したプロジェクトであるが、人口が多い沿岸域を主な対象とするため、人文・社会環境とも強い関連を持っている。したがって、LOISは環境全般に関する総合的研究の一事例とみなされる。また、新たな観測手法の導入や観測地点の設置により、詳細なデータを収集するとともに、既存のデータをデジタル・データベースとして取りまとめ、それをGISなどにより解析する作業が重視された。その結果、多数の新知見が得られた。

日本においても、河川や沿岸の環境に関する多様なデータが蓄積しているが、それらは分散して存在し、多様な形式で記録されている。このため、既存の情報の統合的な分析は困難である。この状況では、貴重な資産を有効活用できず、流域や沿岸域の環境保全に関する説得力のある提案も困難である。したがって、日本においてもLOISと同様な学際的・総合的な環境研究プロジェクトを実施し、既存の資産と最新の技術を積極的に活用することが望まれる。

参考文献

- 小口 高・Jarvie, H.P.・Neal, C. (2002): 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. 地学雑誌, 111, 410-415.
- Eatherall, A., Boorman, D.B., Williams, R.J. and Kowe, R. (1998): Modelling in-stream water quality in LOIS. *Sci. Total Environ.*, 210/211, 499-517.
- Evans, J.G., Wass, P.D. and Hodgson, P. (1997): Integrated continuous water quality monitoring for the LOIS river programme. *Sci. Total Environ.*, 194/195, 111-118.
- House, W.A. and Warwick, M.S. (1998a): Intensive measurements of nutrient dynamics in the River Swale. *Sci. Total Environ.*, 210/211, 111-137.
- House, W.A. and Warwick, M.S. (1998b): A mass-balance approach to quantifying the importance of in-stream processes during nutrient transport in a large river catchment. *Sci. Total Environ.*, 210/211, 139-152.
- House, W.A., Leach, D., Warwick, M.S., Whitton, B.A., Pattinson, S.N., Ryland, G., Pinder, A., Ingram, J., Lishman, J.P., Smith, S.M., Rigg, E. and Denison, F.H. (1997): Nutrient transport in the Humber rivers. *Sci. Total Environ.*, 194/195, 303-320.
- Jahiruddin, M., Smart, R., Wade, A.J., Neal, C. and

- Cresser, M.S. (1998): Factors regulating the distribution of boron in water in the River Dee catchment in north east Scotland. *Sci. Total Environ.*, 210/211, 53–62.
- Jarvie, H.P., Neal, C., Leach, D.V., Ryland, G.P., House, W.A. and Robson, A.J. (1997a): Major ion concentrations and the inorganic carbon chemistry of the Humber rivers. *Sci. Total Environ.*, 194/195, 285–302.
- Jarvie, H.P., Neal, C. and Tappin, A.D. (1997b): European land-based pollutant loads to the North Sea: an analysis of the Paris Commission data and review of monitoring strategies. *Sci. Total Environ.*, 194/195, 39–58.
- Jarvie, H.P., Whitton, B.A. and Neal, C. (1998): Nitrogen and phosphorus in east coast British rivers: Speciation, sources and biological significance. *Sci. Total Environ.*, 210/211, 79–109.
- Jarvie, H.P., Oguchi, T. and Neal, C. (2000a): Pollution regimes and variability in river water quality across the Humber catchment: interrogation and mapping of an extensive and highly heterogeneous spatial dataset. *Sci. Total Environ.*, 251/252, 27–43.
- Jarvie, H.P., Neal, C., Tappin, A.D., Burton, J.D., Hill, L., Neal, M., Harrow, M., Hopkins, R., Watts, C. and Wickham, H. (2000b): Riverine inputs of major ions and trace elements to the tidal reaches of the River Tweed, UK. *Sci. Total Environ.*, 251/252, 55–81.
- Jarvie, H.P., Neal, C., Tappin, A.D., Burton, J.D., Harrow, M., Hill, L. and Neal M. (2000c): The water quality of the River Trent: from the lower non-tidal reaches to the freshwater tidal zone. *Sci. Total Environ.*, 251/252, 335–367.
- Jarvie, H.P., Neal, C., Burton, J.D. and Tappin, A.D. (2002): Patterns in trace element chemistry in the freshwater tidal reaches of the River Trent. *Sci. Total Environ.*, 251/252, 317–333.
- 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. *Sci. Total Environ.*, 210/221, 5–20.
- Leeks, G.J.L., Neal, C., Jarvie, H.P., Casey, H. and Leach, D.V. (1997): The LOIS river monitoring network: strategy and implementation. *Sci. Total Environ.*, 194/195, 101–109.
- Lewis, D.R., Williams, R.J. and Whitehead, P.G. (1997): Quality simulation along rivers (QUASAR): an application to the Yorkshire Ouse. *Sci. Total Environ.*, 194/195, 399–418.
- Moore, R.V. (1997): The logical and physical design of The Land Ocean Interaction Study database. *Sci. Total Environ.*, 194/195, 137–146.
- Neal, C., Robson, A.J., Harrow, M., Hill, L., Wickham, H., Bhardwaj, C.L., Tindall, C.I., Ryland, G.P., Leach, D.V., Johnson, R.C., Bronsdon, R.K. and Cranston, M. (1997a): Major, minor, trace element and suspended sediment variations in the River Tweed: results from the LOIS core monitoring programme. *Sci. Total Environ.*, 194/195, 193–205.
- Neal, C., Robson, A.J., Jeffery, H.A., Harrow, M.L., Neal, M., Smith, C.J. and Jarvie, H.P. (1997b): Trace element inter-relationships for the Humber rivers: inference for hydrological and chemical controls. *Sci. Total Environ.*, 194/195, 321–343.
- Neal, C., Fox, K.K., Harrow, M. and Neal, M. (1998a): Boron in the major UK rivers entering the North Sea. *Sci. Total Environ.*, 210/211, 41–51.
- Neal, C., Robson, A.J., Wass, P., Wade, A.J., Ryland, G.P., Leach, D.V. and Leeks, G.J.L. (1998b): Major, minor, trace element and suspended sediment variations in the River Derwent. *Sci. Total Environ.*, 210/211, 163–172.
- Neal, C., House, W.A., Jarvie, H.P. and Eatherall, A. (1998c): The significance of dissolved carbon dioxide in major lowland rivers entering the North Sea. *Sci. Total Environ.*, 210/211, 187–203.
- Neal, C., Harrow, M. and Williams, R.J. (1998d): Dissolved carbon dioxide and oxygen in the River Thames: Spring–summer 1997. *Sci. Total Environ.*, 210/211, 205–217.
- 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.
- Neal, C., Jarvie, H.P., Whitton, B.A. and Gemmill, J. (2000a): The water quality of the River Wear, north-east England. *Sci. Total Environ.*, 251/252, 153–172.
- Neal, C., Jarvie, H.P., Williams, R.J., Pinder, L.C.V., Collett, G.D., Neal, M. and Bhardwaj, L. (2000b): The water quality of the Great Ouse. *Sci. Total Environ.*, 251/252, 153–172.
- Neal, C., Williams, R.J., Neal, M., Bhardwaj, L.C., Wickham, H., Harrow, M. and Hill, L.K. (2000c): The water quality of the River Thames at a rural site

- downstream of Oxford. *Sci. Total Environ.*, 251/252, 441–457.
- Neal, C., Jarvie, H.P., Howarth, S.M., Whitehead, P.G., Williams, R.J., Meal, M., Harrow, M. and Wickham, H. (2000d): The water quality of the River Kennet: initial observations on a lowland chalk stream impacted by sewage inputs and phosphorus remediation. *Sci. Total Environ.*, 251/252, 477–495.
- Neal, C., Neal, M. and Wickham, H. (2000e): Phosphate measurement in natural waters: two examples of analytical problems associated with silica interference using phosphomolybdic acid methodologies. *Sci. Total Environ.*, 251/252, 511–522.
- NERC (Natural Environment Research Council) (1992): Land–Ocean Interaction Study (LOIS): Science Plan for a Community Research Project. 31pp.
- Oguchi, T., Jarvie, H.P. and Neal, C. (2000): River water quality in the Humber Catchment: An introduction using GIS-based mapping and analysis. *Sci. Total Environ.*, 251/252, 9–28.
- Robson, A.J., Neal, C., (1997a): A summary of regional water quality for Eastern UK rivers. *Sci. Total Environ.*, 194/195, 15–37.
- Robson, A.J. and Neal, C. (1997b): Regional water quality of the river Tweed. *Sci. Total Environ.*, 194/195, 173–192.
- Smith, R.I., Cape, J.N., Binnie, J., Murray, T.D., Young, M. and Fowler, D. (1997): Deposition of atmospheric pollutant to the LOIS area. *Sci. Total Environ.*, 194/195, 71–85.
- Tindall, C.I. and Moore, R.V., (1997): The Rivers Database and the overall data management for the Land Ocean Interaction Study Programme. *Sci. Total Environ.*, 194/195, 129–135.
- Uncles, R.J., Howland, R.J.M., Easton, A.E., Griffiths, M.L., Harris, C., King, R.S., Morris, A.W., Plummer, D.H. and Woodward, E.M.S. (1998): Concentrations of dissolved nutrients in the tidal Yorkshire Ouse River and Humber Estuary. *Sci. Total Environ.*, 210/211, 377–388.
- Virtue, W.A. and Clayton, J.W. (1997): Sheep dip chemicals and water pollution. *Sci. Total Environ.*, 194/195, 207–217.
- Webb, B.W., Phillips, J.M. and Walling, D.E. (2000): A new approach to deriving ‘best-estimate’ chemical fluxes for rivers draining the LOIS study area. *Sci. Total Environ.*, 251/252, 45–54.
- Whitehead, P.G., Wilson, E.J., Butterfield, D. and Seed, K. (1998): A semi-distributed integrated flow and nitrogen model for multiple source assessment in catchments (INCA): Part II—application to large river basins in south Wales and eastern England. *Sci. Total Environ.*, 210/211, 559–583.