

[ノート]

播磨灘，大阪湾に流入する河川の栄養塩濃度の変動について

吉田 光方¹ 仲川 直子¹ 梅本 諭²

¹兵庫県環境研究センター 水環境科 (水質担当) (〒654-0037 神戸市須磨区行平町 3-1-27)

²元兵庫県環境研究センター (同 上)

Variation of nutrient salt concentration in rivers water flowing into Osaka Bay and Harima-Nada

Mihoko YOSHIDA¹ and Naoko NAKAGAWA¹, Satoshi UMEMOTO²

^{1,2}Water Environment Division, Hyogo Prefectural Institute of Environmental Sciences,
3-1-27, Yukihiro-cho, Suma-ku, Kobe, Hyogo 654-0037, Japan

I はじめに

瀬戸内海では、水質汚濁防止法や瀬戸内海環境保全特別措置法などの規制により、陸域からのCOD、窒素、リンの汚濁負荷量は大幅に削減され、水質の改善が進んだ。その一方で、近年、漁獲量の減少や栄養塩不足によるノリ養殖への影響など、生物生産性の低下が懸念され始めており^{1) 2)}、生物多様性や生産性の高い自然と調和がとれた豊かな海域環境が望まれるようになった³⁾。

栄養塩低下のなかでも、瀬戸内海においては、とりわけ溶存態無機態窒素 (DIN) の減少が顕著であり⁴⁾、溶存態無機態リン (DIP) の減少が問題となっている東京湾⁵⁾とは異なる対策が必要であろうとされている。

藤原らの報告^{6) 7)}において、播磨灘の DIN 濃度が播磨灘北部に流入する主要 4 河川 (加古川、市川、揖保川、千種川) の窒素負荷量と関連することが示唆された事例や、東部瀬戸内海に流入する栄養塩の 30 年間の数値計算から、播磨灘の栄養塩濃度変動を引き起こす原因として、外海よりも河川からの負荷量変動の影響が大きいとの報告があり、海域の栄養塩を研究するにあたり、河川からの流入実態を調査する意義は大きい。

そこで本研究では、播磨灘、大阪湾海域に流入する河川について、公共用水域水質測定計画⁸⁾に

基づき測定された兵庫県内の 58 河川、238 地点における全窒素、無機態窒素、全リン、無機態リンのデータを用いて、経年変動などの解析を行ったので、その結果を報告する。

II 方法

1. 調査対象河川、地点及び期間

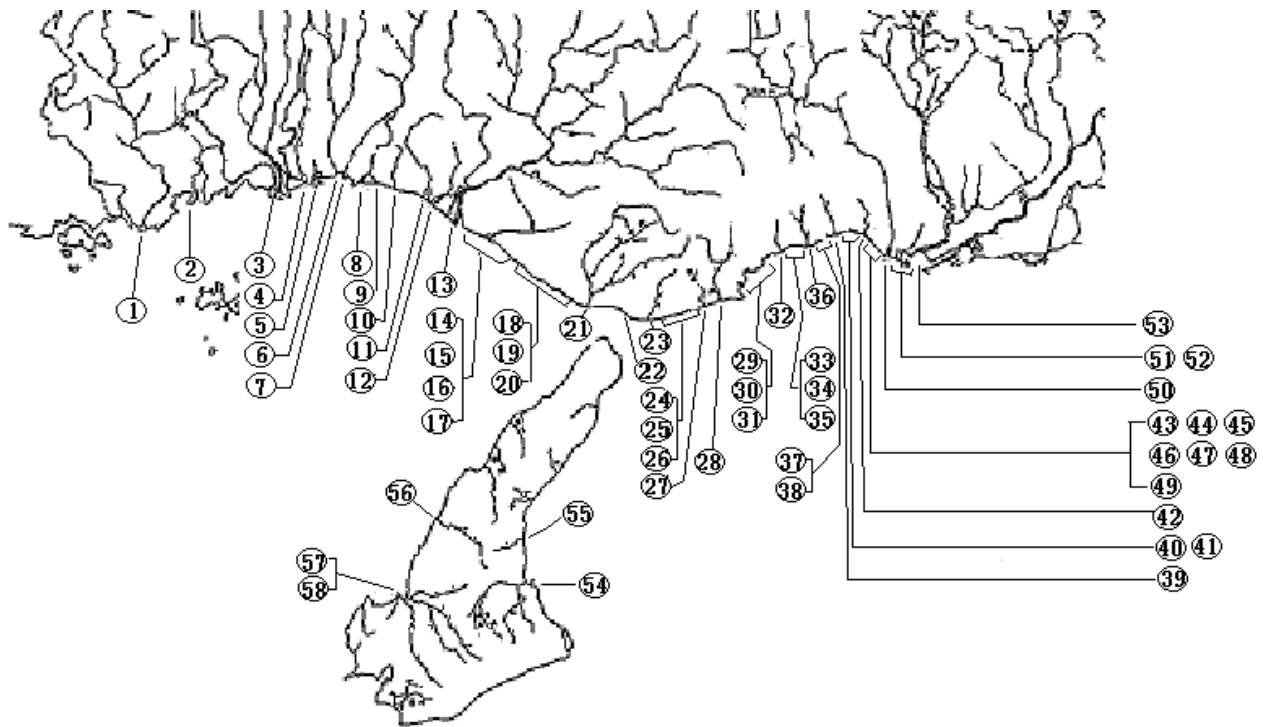
対象とした河川は、播磨灘に流入する主要 6 河川 (千種川、揖保川、夢前川、市川、加古川及び明石川) と播磨地域の都市河川 15 河川、大阪湾流入の主要 2 河川 (武庫川、神崎川) と阪神間の都市河川 30 河川、淡路地域の 5 河川で、合計 58 河川、238 地点とした。河川の詳細を図 1 に示す。上記の主要河川は、河川延長 20km 以上の 8 河川を選定した。解析には、1980~1987 年度の公共用水域の水質等測定結果報告書⁸⁾、1988~2010 年度水質管理システムのデータを用いた。

2. データ解析の方法

2.1 全河川における時間的変動

2.1.1 濃度分布の 10 年ごとの変遷

全測定地点 (238 地点) における全窒素 (T-N)、全リン (T-P) の 2 項目について、濃度分布の変化状況を調べた。それぞれの地点での 1980 年度、1990 年度、2000 年度および 2010 年度における年



【influx into Harima-nada】 **1Chigusa-river** 2Okoku-river **3Ibo-river** 4Otsumo-river 5Shioiri-river **6Yumesaki-river** 7Senba-river
 8Noda-river **9Ichi-river** 10Yaka-river 11Ama-river 12Hokkesantani-river **13Kako-river** 14Youta-river 15Befu-river 16Mizuta-river
 17Kise-river 18Seto-river 19Akane-river 20Taniyagi-river **21Akashi-river**
 【influx into Osaka-bay】 22Yamada-river 23Fukuda-river 24Shioyatani-river 25Ichinotani-river 26Chimori-river 27Myohouji-river
 28Shinminato-river 29Uji-river 30Ikuta-river 31Saigou-river 32Toga-river 33Takaha-river 34Ishiya-river 35Tenjin-river
 36Sumiyoshi-river 37Tenjo-river 38Takahashi-river 39Ashiya-river 40Miya-river 41Horikiri-river 42Syuku-river 43Araiebisu-river
 44Higashi-river 45Kusu-river 46Shin-river 47Noda-river 48Eda-river 49Naruoshin-river **50Muko-river** 51Yomo-river 52Syouge-river
53Kanzaki-river 【Awaji area】 54Sumoto-river 55Shiduki-river 56Gunge-river 57Mihara-river 58Dainichi-river

* Major rivers are represented by the bold font

Fig.1 Location and list of rivers

間平均濃度をもとめ、10年間隔で過去の濃度分布の変化について解析した。濃度区分は、T-N および T-P について「河川と栄養塩類管理に向けての提言」⁹⁾に示されている 7 段階の濃度区分を採用し、高濃度部分の T-N 5.01 mg/L 以上を 5.01～8.00 mg/L と 8.01 mg/L 以上の 2 段階に、T-P 0.501 mg/L 以上を 0.501～0.800 mg/L と 0.801 mg/L 以上の 2 段階にわけ、計 8 区分とした。

2.1.2 濃度の経年変化

全測定地点における T-N, T-P について、1980～2010 年度までの年間平均値を算出し、地点毎の経年変化について解析した。

2.1.3 最下流地点における 2000 年度と 2010 年度の濃度比較

全調査河川（58 河川）の最下流地点での T-N, T-P について、汚濁負荷量の削減対策により、水質が改善されたと考えられる 2000 年度を基準として、2010 年度との濃度比を検証した。2000 年度から 2010 年度までの濃度変化を比較検討するために、2010 年度の年間平均濃度を 2000 年度の年間平均濃度で除した値を算出した。なお、該年度のデータが欠測の場合には、その前後の近い年度のデータで代用した。

2.2 主要河川における流下方向での濃度変化

主要 8 河川の上流から下流までの各地点における窒素、リンの 2006 年度から 2010 年度まで 5 年の年間平均濃度の平均値を用いて、各河川の上流域から下流への流下方向での窒素及びリンの濃度変化を一部流入支川も含めて検討した。なお、窒

素については、DIN(アンモニア性窒素； $\text{NH}_4\text{-N}$ ，
 亜硝酸性窒素； $\text{NO}_2\text{-N}$ ，硝酸性窒素； $\text{NO}_3\text{-N}$)とT-N
 からDINを差し引いて求めた有機態窒素(Org-N)
 を、リンについては、リン酸性リン($\text{PO}_4\text{-P}$)とT-P
 から $\text{PO}_4\text{-P}$ を差し引いて求めた有機態リン
 (Org-P)を解析に用いた。

Ⅲ 結果および考察

1. 全河川における時間的変動

1.1 濃度分布の10年ごとの変遷

T-N, T-Pについて、全測定地点での1980年度、
 から2010年度の濃度分布を10年間隔で図2, 3に
 示す。

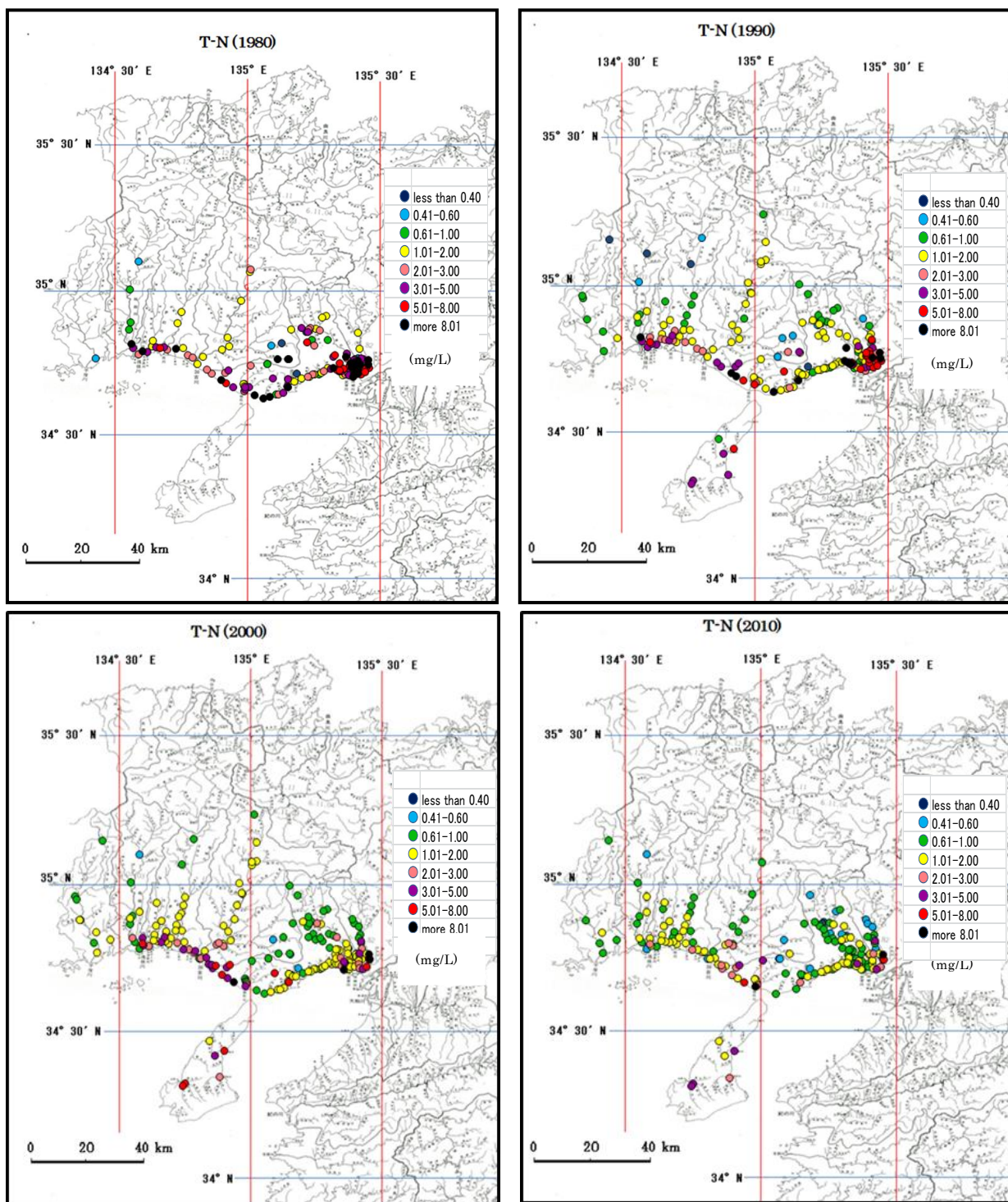


Fig.2 The nitrogen concentration distribution every decade from 1980 to 2010

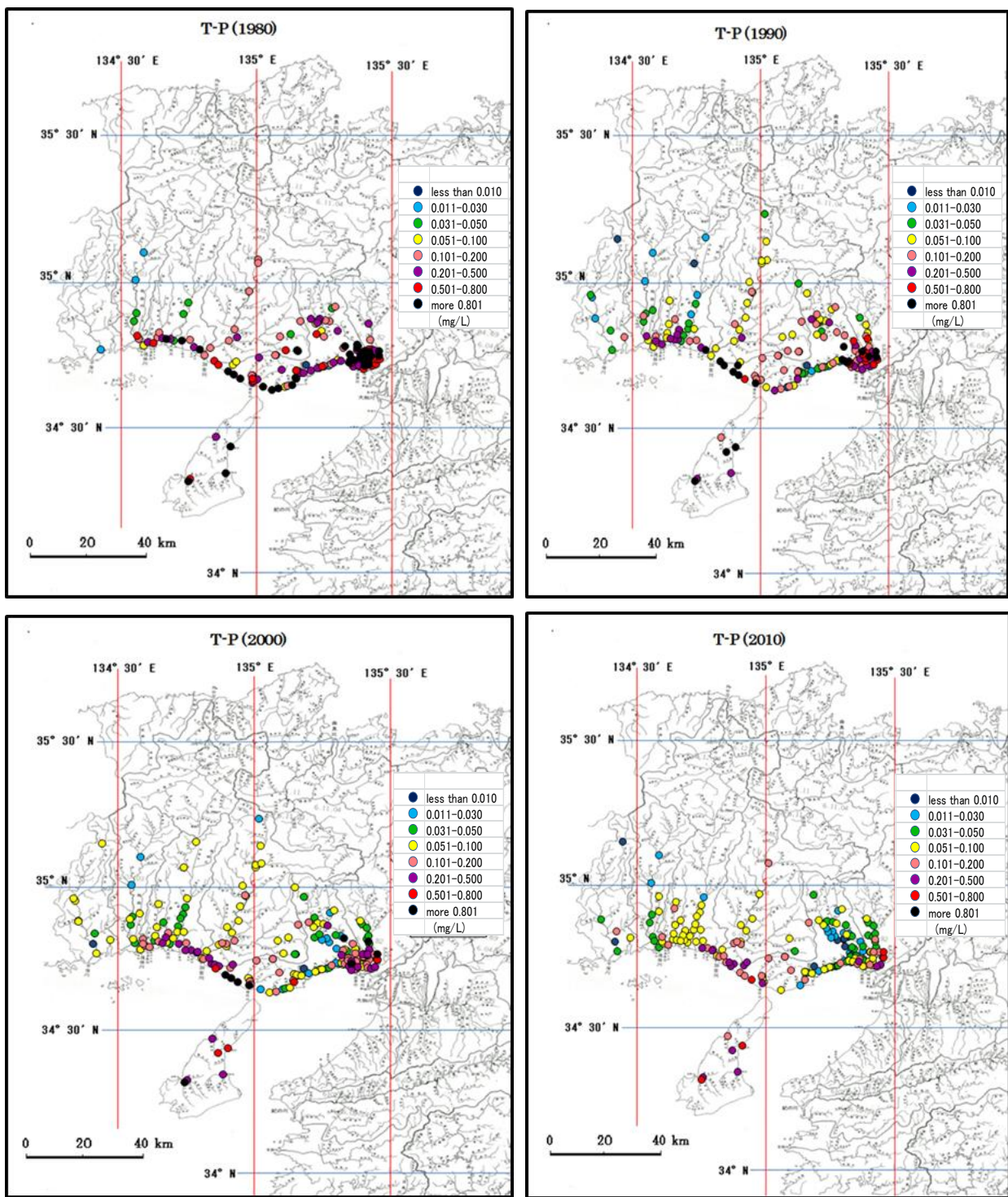


Fig.3 The phosphorus concentration distribution every decade from 1980 to 2010

1980年度は、阪神間をはじめ東播磨、西播磨地域の広範囲にわたり高濃度(T-N5.01mg/L以上、T-P0.501mg/L以上)を示した地点が存在していた。T-Nについて、全測定点に対する高濃度地点の割合は、1980年度に29%であったのが、10年後に17%、20年後に7%、直近の2010年度には2%にまで減少し、事業場排水に対する濃度規制や総量規制の導入、生活排水対策としての下水道整備の

進展などにより、年々水質が改善されてきたことが示された。2010年度に高濃度を示したのは、尼崎と明石市内の2地点で、前者の周辺には工場などの排出源が存在しないことから、生活排水の影響が一部残っていると考えられ、後者は下水処理場放流水が流れ込むすぐ下流の地点であった。

T-Pについて高濃度地点の存在割合は、1980年度に42%であったが、窒素同様10年おきに、18%、

7%, 3%と減少し続けてきた。2010年度に高濃度を示したのは、窒素と同じく尼崎と明石市内の3地点および淡路地域2地点であり、いずれも工場排水など汚染源が存在しないことから、生活排水の影響によるものと考えられた。

1.2 濃度の経年変化

238全測定地点のT-N, T-Pについて、31年間の経年変化を解析した。その一例として、高濃度河川および主要8河川を図4, 5に示す。

T-N, T-Pともに1995年頃までは急激な減少により水質改善の効果が顕著であった。このことは、「1.1濃度分布の10年ごとの変遷」でも示したように、1980年度から2000年度までの減少割合は著しく、その後緩やかな減少傾向を示す結果とも一致しており、事業場排水や生活排水対策の効果が表れたものと考えられる。

T-Nでは、1980年度～1990年度当時、西播磨地域の八家川(2号線バイパス下)、大津茂川(宮内橋)、林田川(真砂橋)や阪神間の神崎川(利倉、戸

の内橋)などで20mg/L以上の高濃度が現出された。これら高濃度地点において、1995年度以降は急激に濃度が低下しており、阪神間では下水道の普及により、生活排水の河川への流入量が減少したことによると推察された。一方、西播磨地域において80～160mg/Lの非常に高い濃度を示した地点では、皮革工場排水が原因と考えられたが、皮革排水が公共下水道接続に切り替えられたことから急激にT-N濃度は減少し、近年では1～3mg/L程度で推移している。

また、主要河川においても1980年度～1990年度までは相対的に高濃度であったが、1995年度以降は減少傾向にあり、近年では明石川と神崎川を除いては、2mg/L以下で推移している。このようにT-Nはこの30年ほどで、全体的には減少し低濃度で安定しつつあるが、明石川においては、2000年度までは大きな濃度変動を繰り返しながら、直近10年は漸増傾向にあり、ほか主要河川とは異なる挙動を示している。

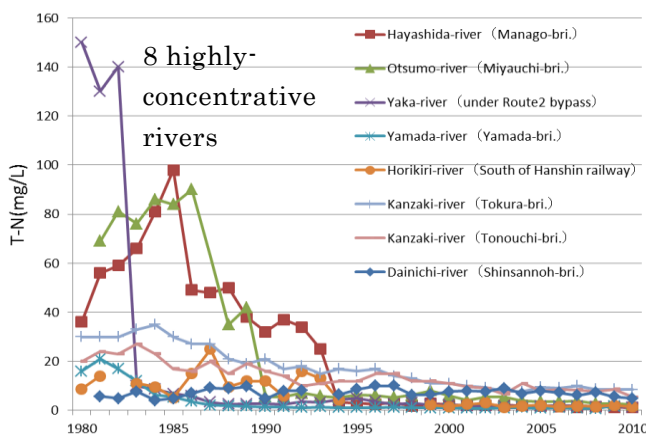


Fig.4 Yearly fluctuation of nitrogen concentration from 1980 to 2010 at major rivers and highly-concentrative rivers

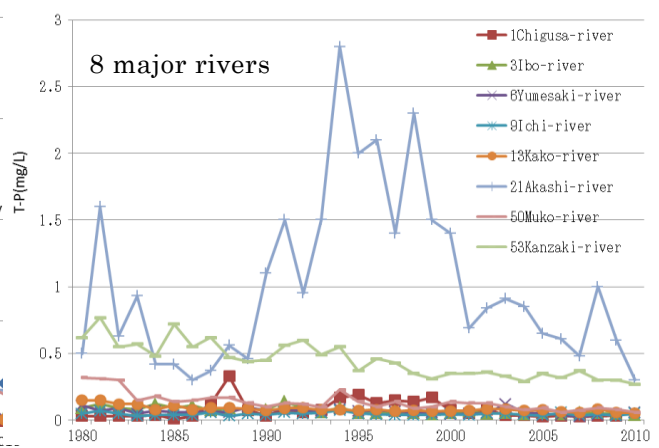
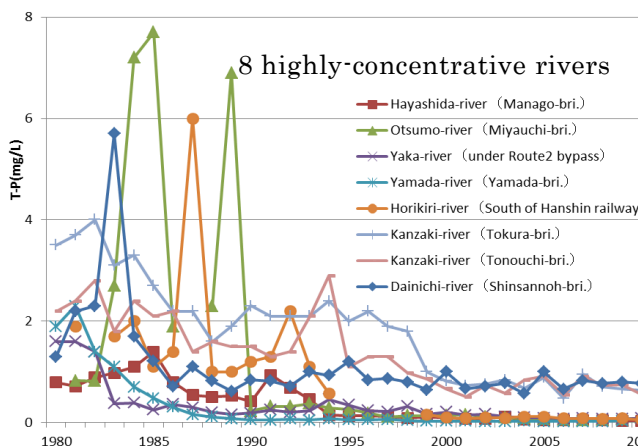
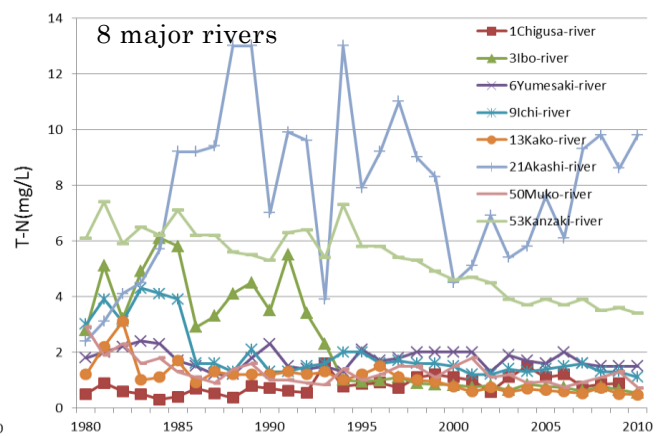


Fig.5 Yearly fluctuation of phosphorus concentration from 1980 to 2010 at major rivers and highly-concentrative rivers

T-P は、1980 年度～1990 年度当時、西播磨地域の天津茂川(宮内橋)、阪神間の堀切川(阪神電鉄南)や淡路地域の大日川(新山王橋)などで 5mg/L 以上の高濃度が現出されたが、1990 年度以降は急激に濃度が低下した。このことは T-N よりも先んじて削減対策が実施され、皮革工場排水や生活排水の影響を受けていた地点で高濃度を観測していたのが、下水道の普及に伴い、河川への流入量が減少したことによることに加え、当時の下水道処理の一般的な手法である標準活性汚泥法におけるリンの除去率が約 88%と、窒素の 55%と比べ、高いことによるものと推察された¹⁰⁾。

また、主要河川では、明石川と神崎川を除いて大きな変動はなく 1980 年度当初から 0.5 mg/L 以下の低濃度で安定している点が、T-N と異なっていた。

明石川の T-P の変動は、他の主要河川と比較すれば大きいですが、T-N や T-P の高濃度河川ほどではなかった。また、直近 10 年は漸増傾向にある T-N とは対照的に、この 10 年は 1 mg/L 以下で推移しており、どちらかといえば減少傾向であった。

1.3 最下流地点における 2000 年度と 2010 年度の濃度比較

窒素、リンそれぞれについて、全 58 河川の最下流地点における 2010 年度の T-N、T-P 濃度(上図)と、2000 年度を基準とした 2010 年度の濃度比(下図)を図 6 に示した。

窒素について、2010 年度/2000 年度の T-N 濃度比が 2 を超過するのは明石川のみで、1.5 を超えるのは山田川と久寿川の 2 河川、1 を超えるのは塩屋谷川など 8 河川で、いずれも阪神間に集中していた。2000 年度よりも濃度が上昇した地点は 58 地点中 11 地点であり、調査対象地点の 19%を占めていた。2010 年度の明石川と久寿川の濃度は、9.8mg/L、3.8 mg/L と、この 10 年で上昇傾向であり、今後の原因究明や対策が必要であると考えられた。また、この 10 年で減少傾向ではあるものの、いまだ濃度が高めである谷八木川や枝川、淡路地域河川についても、さらなる対策が求められる。その一方で、8 割を超える河川では濃度減少傾向にあり、そのうち全体の 24%を占める 14 河川では濃度が半減しており、窒素削減対策の効果が現れたと評価された。

リンでは、T-P 濃度比が 3 を超過するのは千森川のみで、2 を超えるのは宮川と久寿川の 2 河川、

1 を超えるのは 13 河川で、西播磨から淡路地域まで広範囲にわたっていた。2000 年度よりも濃度が上昇した地点は 16 地点であり、調査対象地点の 27%を占め、T-N よりも多かった。2010 年度の久寿川の濃度は、0.51mg/L で、この 10 年で上昇傾向であり、窒素と同じく今後の原因究明や対策が必要であると考えられた。また、この 10 年で減少傾向ではあるものの、いまだ濃度が高めである谷八木川や淡路地域河川についても、さらなる対策が求められる。一方で、7 割以上の河川で濃度は下がっており、そのうち船場川など全体の 1/3 を占める 20 河川で濃度が半減し、なかでも 3 河川(瀬戸川、赤根川、夙川)は濃度が 1/5 と著しく減少し、リン削減の効果が現れていた。

2. 主要河川における流下方向での濃度変化

上流域から下流への流下にそった窒素及びリンの各態の濃度変化を、図7および図8に示す。

窒素については、千種川、揖保川、夢前川、市川、加古川の播磨地域の 5 河川において濃度は低く、2 mg/L を超過する地点はなかった。とりわけ千種川では対象とした 3 地点ともに 1 mg/L 未満と低濃度であった。また、加古川を除く 4 河川においては T-N に占める無機態窒素の割合が高く、揖保川(本町橋)以外では 75%を超えており、そのほとんどが NO₃-N であった。これらの 4 河川では、上流から流下するに従い、濃度が上昇する傾向がみられた。一方、加古川では、最上流地点の井原橋の濃度が最も高く、NO₂-N が全体の 16.7%を占めている点が、西播磨地域の 4 河川とは異なっていた。大住橋へ流下するまでに、東条川、万願寺川の支川が流入するが濃度は徐々に減少し、上荘橋上流では、加古川流域上流浄化センター放流水の流入の影響で、若干の濃度上昇がみられるものの、それ以降は流下するにつれ濃度は減少し、この点に関しても西播磨地域の河川とは異なる挙動を示していた。明石川、武庫川、神崎川では、最上流地点では T-N 濃度は 1mg/L 未満であったが、中流域もしくは下流域で濃度が上昇し、その一因として NH₄-N および NO₃-N 濃度の上昇が寄与するものと考えられた。特に、濃度上昇が著しかった神崎川の利倉橋は、その上流域に存在する豊中市の下水道終末処理場からの放流水が原因であると推察され、流下するにつれ徐々に濃度は減少し、最下流の辰巳橋へ到達するまでに半減している。また、明石川の嘉永橋については、その原因が特定されておらず、早急

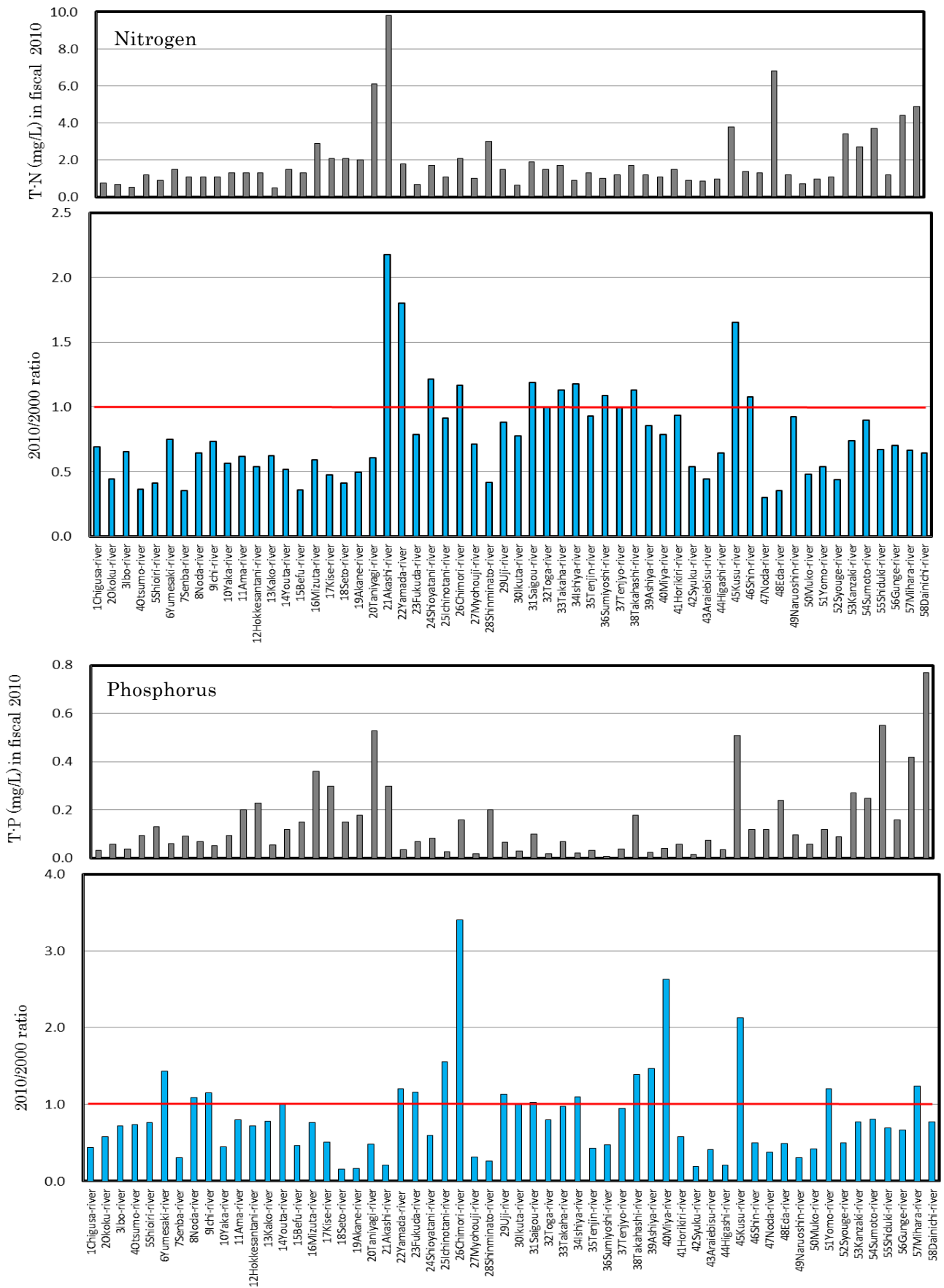


Fig.6 Nitrogen and phosphorus concentration at downstream region of rivers (above: average concentration in 2010FY, below: ratio of concentration in 2010FY/2000FY)

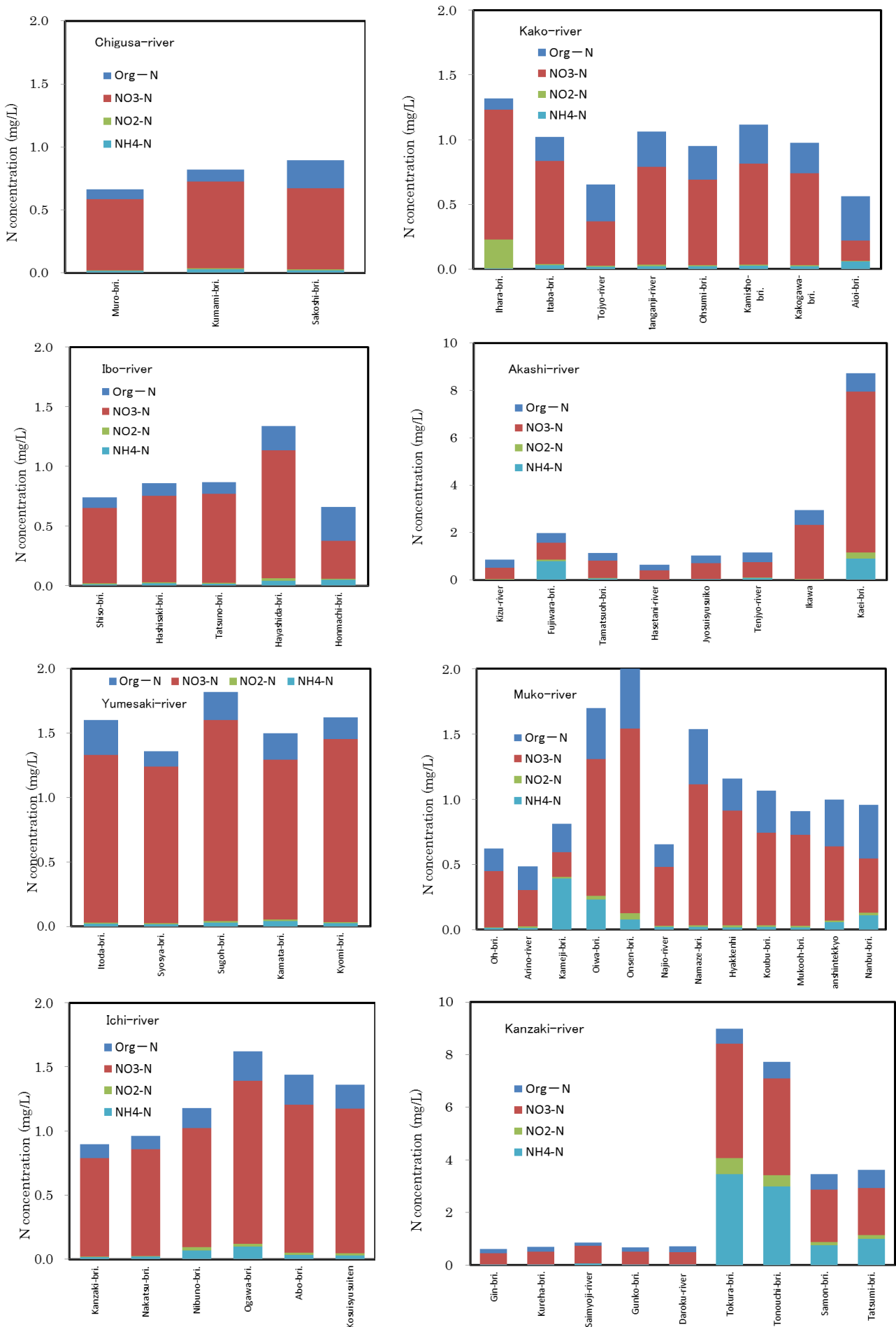


Fig.7 Inorganic and organic nitrogen concentration in major rivers (left; upstream, right; downstream),

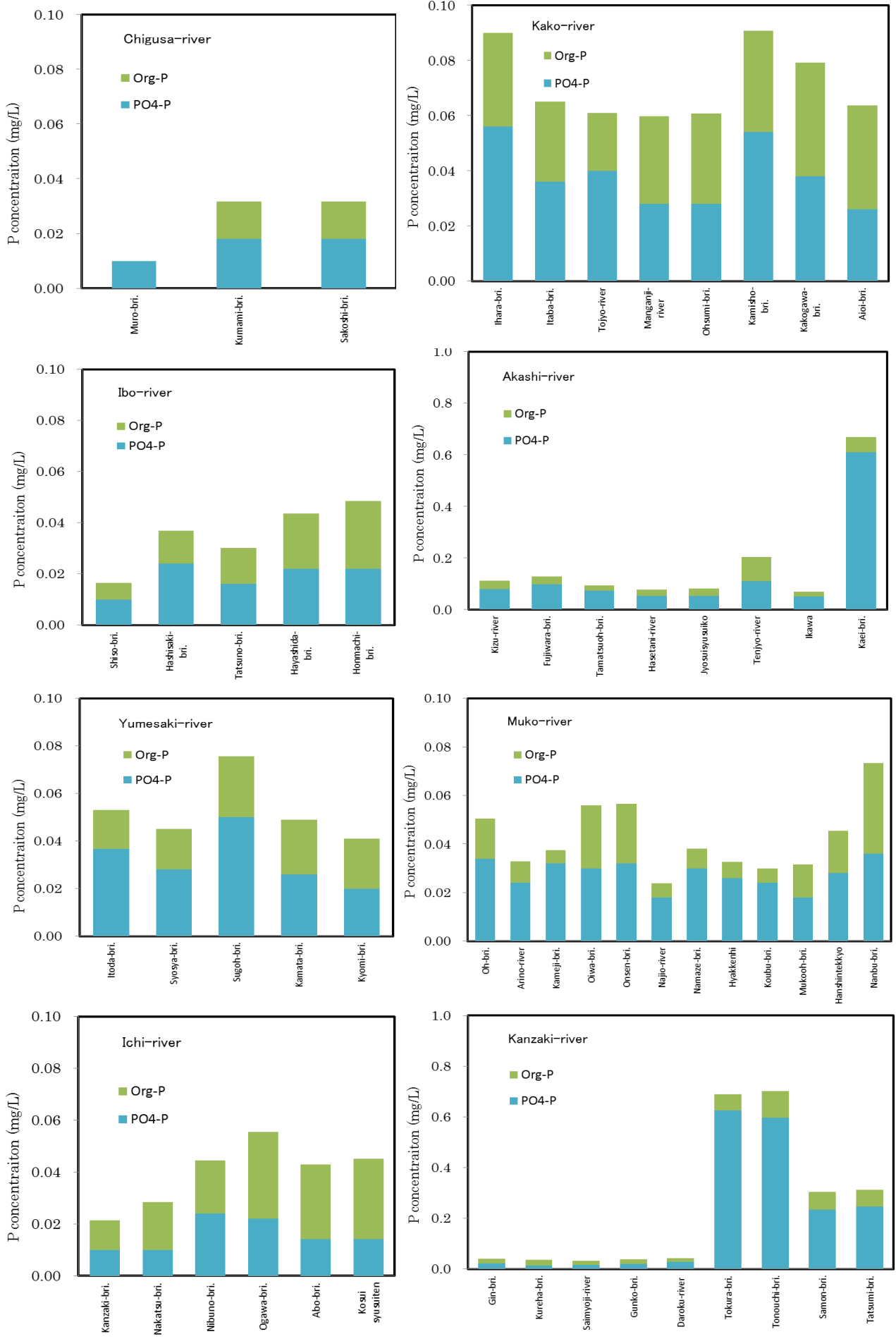


Fig.8 Phosphoric acid and organic phosphorus concentration in major rivers (left; upstream, right; downstream)

な原因究明および対策が必要と考えられる。

リンについても、窒素と似たような挙動を示し、加古川以西で濃度は低く、0.10 mg/L を超過する地点はなかった。とりわけ千種川、揖保川では対象とした8地点すべてにおいて0.05 mg/L 未満と低濃度であった。また、千種川(室橋)を除く5河川26地点においてT-Pに占める PO_4 -Pの割合が低く、70%を下回っていた。西播磨地域の4河川では、上流から流下するに従い、濃度が上昇する傾向がみられた。一方、加古川では、最上流地点の井原橋と上荘橋の濃度が0.90 mg/L を超過しているものの、窒素と同様に流下するにつれ濃度は減少し、西播磨地域の河川とは異なる挙動を示していた。

明石川、武庫川、神崎川では、最上流地点のT-P濃度は0.1mg/L前後と低めであったが、中流域もしくは下流域で濃度が上昇していた。特に、濃度上昇が著しかった神崎川の利倉橋は、その上流域の10倍程度と窒素同様急上昇していたが、流下するにつれ徐々に濃度は減少し、最下流の辰巳橋へ到達するまでに半減していた。明石川については、窒素ほど急激ではないが、下流域で濃度上昇がみられた。また、この3河川29地点中半数の15地点においてT-Pに占める PO_4 -Pの割合は70%を上回り、加古川以西の5河川とは異なる挙動を示していた。即ち、この3河川では濃度上昇に伴い微生物も増殖しOrg-Pが増えるが、それ以上の PO_4 -Pの増加が、T-P上昇に寄与していたと推察される。

IV 結 論

本研究において、播磨灘、大阪湾海域に流入する兵庫県内の58河川について、1980~2010年度のT-N, DIN, T-P, DIPのデータを用いて、経年変動などの解析を行い、以下の結果を得た。

- (1) 全238地点でのT-N, T-Pの10年ごとの濃度分布において、水質が改善していることが示されたが、いまだ一部地域において高濃度地点が存在していた
- (2) 1980~2010年度の経年変化において、T-N, T-P濃度は、1995年頃までは急激な減少がみられ、その後も徐々にではあるが減少傾向であった
- (3) 全58河川の最下流地点のうち、T-N, T-P濃度の2010年度/2000年度比が高く、かつ2010年度の濃度が高い明石川(T-N), 久寿川(T-N, T-P)では、原因究明と対策が必要であると考えら

れた。窒素は、2000年度と比較して2010年度に阪神間で増加していたが、リンは増減に地域的な差は見られなかった。

- (4) 河川延長の長い主要8河川における流下方向での濃度変化については、千種川、揖保川、夢前川、市川、加古川の5河川の濃度は低く、上流から流下するに従い、濃度が上昇する傾向を示したことが、窒素、リンともに共通していた。

謝 辞

本研究は、瀬戸内海研究会議による「平成24年度瀬戸内海の環境保全・創造に係る研究助成」を受け、実施したものである。ここに記し、謝意を表す。

文 献

- 1) 藤原建紀, 渡邊康憲, 樽谷賢治: 特集 海の貧栄養化とノリ養殖, 海洋と生物, 31, 111-172(2009)
- 2) 独立行政法人水産総合研究センター, 岡山県農林水産総合センター, 兵庫県立農林水産技術総合センターほか: 平成23年度海面養殖業振興対策事業のうち新たなノリ色落ち対策技術開発のうち「沿岸海域の栄養塩管理技術の開発委託事業」成果報告書, 平成24年3月
- 3) 中央環境審議会: 瀬戸内海における今後の目指すべき将来像と環境保全・再生の在り方について(答申), 平成24年10月
- 4) 原田和弘, 反田實: 河川からの窒素負荷量変化が播磨灘の溶存態無機窒素(DIN)濃度変動に与える影響, 兵庫県立農林水産技術総合センター研究報告[水産編], 42, 87-91(2011)
- 5) 長谷川健一, 林俊裕: 各内湾域の実態把握-東京湾の栄養塩環境とノリ養殖-, 2008年度日本海洋学会秋季大会シンポジウム「ノリ色落ちと内湾域の栄養塩動態」講演要旨集, 13-15(2008)
- 6) 藤原建紀: 瀬戸内海の貧栄養化, 水環境学会誌, 34(2), 34-38(2011)
- 7) Kobayashi S. Fujiwara T. Long-term variability of shelf water intrusion and its influence on hydrographic and biogeochemical properties of the Seto Inland Sea, Japan :Journal of Oceanography, 64, 595-603(2008)
- 8) 兵庫県: 公共用水域の水質等測定結果報告

書（1980年度版～1987年度版）

- 9) 財団法人河川環境管理財団編（大垣眞一郎監修）：河川と栄養塩類 管理に向けての提言 技報堂出版(2005)
- 10) 伊原裕，田畑佳世，宮川肇，松田史郎，小森孝郎，神藤正則，田中智之：処理方式の違いによる下水処理場からの大阪湾への栄養塩供給量について，日本水境学会年会講演集，573（2013）

Abstract

This study has been conducted on fluctuation of nutrients concentration of river water flowing into Osaka bay and Harima-nada with long-term monitoring data from 1980 to 2010. The results are as follows.

- (1) T-N and T-P concentration of 238 sampling points in 58 rivers were improved every decade from 1980 to 2010, but some points were still keeping at high concentration.
- (2) A drastic deceleration in T-N and T-P concentration was observed until 1995, after then it had been declined slowly.
- (3) Akashi-river (T-N), Kusu-river (T-N, T-P) were necessary to investigate the origin of a high and increasing concentration.
- (4) T-N in 2010FY was increased as compared with that of 2000FY at the rivers in Hanshin-area, on the other hand T-P fluctuation was not observed between regional difference.
- (5) T-N and T-P concentration at Kako-river, Chigusa-river, Ibo-river, Yumesaki-river and Ichi-river were lower than other main rivers and these were increased higher as flowing direction.