

22.タイ国Chao Phraya川下流域における 河川水質の時空間特性

松浦 拓哉^{1*}・辻 涼太²・小山 直紀³・手計 太一³・堀内 雄介⁴

¹中央大学 理工学部都市環境学科・日本学術振興会特別研究員PD（〒112-8551 文京区春日1-13-27）

²中央大学大学院 理工学研究科都市人間環境学専攻（〒112-8551 文京区春日1-13-27）

³中央大学 理工学部都市環境学科（〒112-8551 文京区春日1-13-27）

⁴株式会社奥村組 東日本支社土木技術部（〒108-8381港区芝5-6-1）

* E-mail: tmatsura487@g.chuo-u.ac.jp

本研究では、タイ国Chao Phraya川下流域における河川水質の時空間変化を明らかにするために、2016年8月～2018年11月までの2年間、定期的に観測、分析を実施した。観測項目はpH、電気伝導率、水温、アルカリ度、溶存イオン8項目である。その結果、溶存イオン濃度のCl比は河川流量の季節変化と同様に、雨期に上昇し、乾期に減少する季節変化が観測された。2018年3月の溶存イオン濃度のCl比は2017年1～3月（乾期）と比較して、高い結果であった。この要因は、Chao Phraya Damの放流量であることが明らかになり、Chao Phraya Damの放流量がChao Phraya川下流域の水質変化に強く影響を与えていると推測された。34地点を対象に縦断観測をした結果、流下するにつれ、溶存イオン濃度のCl比が低くなる空間的特徴が得られ、これはChao Phraya川に接続する中小河川からの流入によるものであると考えられる。

Key Words : dissolved ions, water quality, seasonal change, Chao Phraya River, Thailand

1. はじめに

河川水は人間が利用しやすい資源であり、世界各国で河川水、湖水から原水を取水している。しかし、開発途上国や中進国の河川水はいまだに環境水質基準が低く、その基準さえも満たしていないのが実情である。中進国として発展を続けているタイ国でも同様であり、タイ国内における河川水質環境は1996年以降、大幅な改善が認められず、主要河川では悪化している¹⁾。タイ国における59の主要河川水と6つの常設水源で水質指標WQIを調査したところ、北東部の河川水、水源は他の地域と比較して、水質が良質である一方、中央部の河川水、水源は水質が悪化していると報告している。特に、Chao Phraya川は年々、水質環境が悪化しており、モニタリングと水質改善が必要な地域であると指摘されている²⁾。

Chao Phraya川流域を対象とした河川水質環境の研究は古くから実施されている³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾。著者らが知る限り、Chao Phraya川流域における河川水の水質に関する最初の研究は小林(1958)であり、タイ全土の河川水を対象に、

1年間、毎月、31地点で観測を実施した。その結果、タイ国内の他の河川水と比較して、Chao Phraya川はCa、K、SiO₂、アルカリ度の含有量が多く、地質由来の水質が豊富であること、乾期に海水起源の水質が上昇する季節変化があることを明らかにした⁷⁾。Horiuchi et al. (2020)⁸⁾はChao Phraya川の水質環境を明らかにするために、下流域全域の30地点において、表層水、底層水の溶存イオンを分析した。その結果、人為起源イオンは海水起源イオンとは異なり、雨期、乾期の季節変化はなく、河川周辺環境に依存していることを明らかにした。そのため、河川周辺の工場の把握、定期的な水質モニタリングが重要であると述べている⁹⁾。

近年、Chao Phraya川全域で多くの河川構造物、水工構造物が建設、運用されており、水質変化は複雑である。しかし、首都圏水公社 (MWA : Metropolitan Waterworks Authority)、タイ王国灌漑局 (RID : Royal Irrigation Department)による水質モニタリングのみで、Chao Phraya川下流域の水質特性についての研究はほとんどされていない。

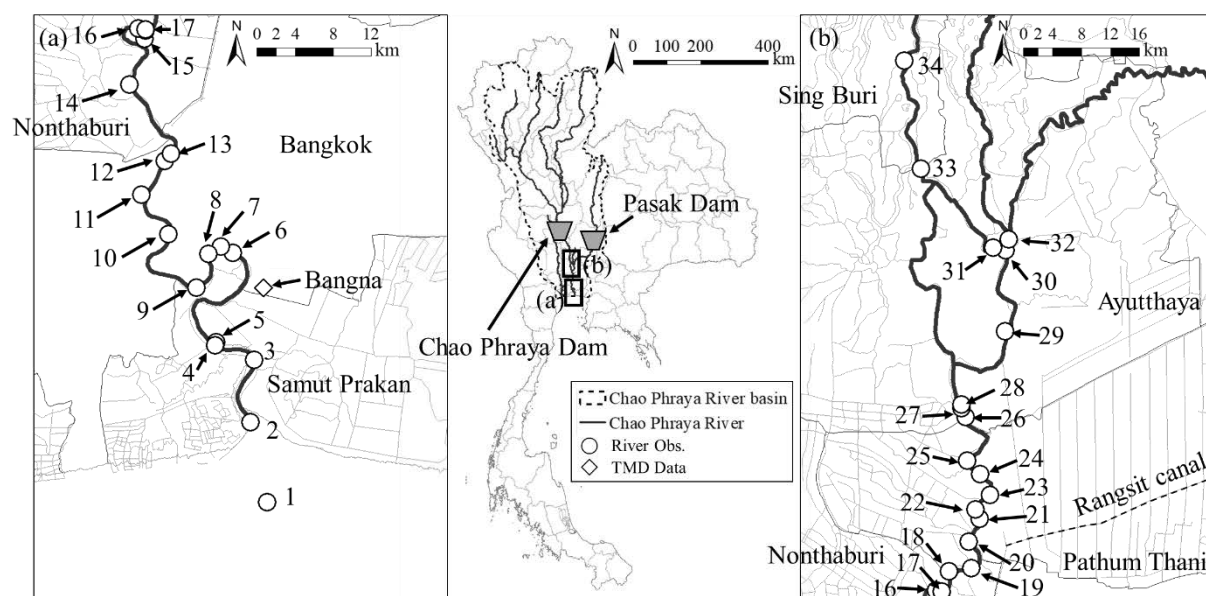


図-1 Chao Phraya 川下流域と観測地点

表-1 観測地点と観測時期

No	Station	Distance from the river mouth (km)	2016				2017				2018					
			8	10	12	2	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10
Samut Prakan																
1	Sea water	-10.0														
2	River month	0.0														
3	Samut Prakan	8.3														
4	C01_T02	11.3														
5	CP_01	17.6														
Bangkok																
6	C02_T01	26.7														
7	Klong Toey Port	28.4														
8	CP_02	30.2														
9	C03_S06	34.2														
10	Saphan Taksin	44.2														
11	C04_S07	50.0														
12	RID	54.5														
13	CP_03	55.8														
Nonthaburi																
14	C05_T04	64.9														
15	Wat Klangkret	69.6														
16	CP_05	75.1														
17	Wat Sanam Nuea	78.9														
18	Wat Bang Tanai	75.9														
19	Wat Salak Nua	82.0														
Patum Thani																
20	Wat Nam Won	86.4														
21	C06_S04	90.1														
22	CP_06	91.5														
23	C07_S01	95.1														
24	CP_07	97.8														
25	C08_S03	100.5														
Ayutthaya																
26	Bangsai	109.3														
27	CP_08	110.9														
28	CP_09	112.4														
29	C10_T03	131.0														
30	CP_10	143.7														
31	CP_11	144.1														
32	CP_12	144.6														
Sing Buri																
33	CP_13	164.9														
34	CP_14	183.1														

以上を鑑み、本研究では、溶存イオン、電気伝導率 (EC)、pH、水温の観測、分析を縦断的かつ定期的に実施し、Chao Phraya川下流域における河川水質の時空間変化とその要因を明らかにした。

2. Chao Phraya川流域と研究対象領域

Chao Phraya川流域は、東南アジアのインドシナ半島に位置するタイ国の北東部山岳地帯から中央平原にまたがり、流域面積は157,925 km²である。これは、同国面積の約30%であり、29の県に跨る同国最大の流域である⁹⁾。

図-1はChao Phraya川下流域、観測地点、本川に流入する中小河川である。図-1にはタイ気象局 (TMD : Thai Meteorological Department) が管理する気象観測所の観測位置も併記した。表-1は観測地点の観測時期であり、各観測地点の観測月は黒色で塗りつぶした。本研究対象領域はChao Phrayaデルタの扇頂部に近いChainatにある分水堰 (Chao Phraya Dam) から下流である (図-1)。Chao Phraya Damは河口から278.4 km地点にあり、地形的に低平なChao Phrayaデルタへの灌漑用水と河川維持流量のマネジメントを行う上で非常に重要な役割を果たしている。

3. 観測及び分析方法

本研究の観測項目は、pH、EC、水温、溶存イオンである。pH、EC、水温はポータブル型水質計 (HORIBA社製 LAQUA act D-74/ES-74) を使用し、現地で観測した。pH、EC、水温の測定方法はそれぞれ、ガラス電極法、交流2

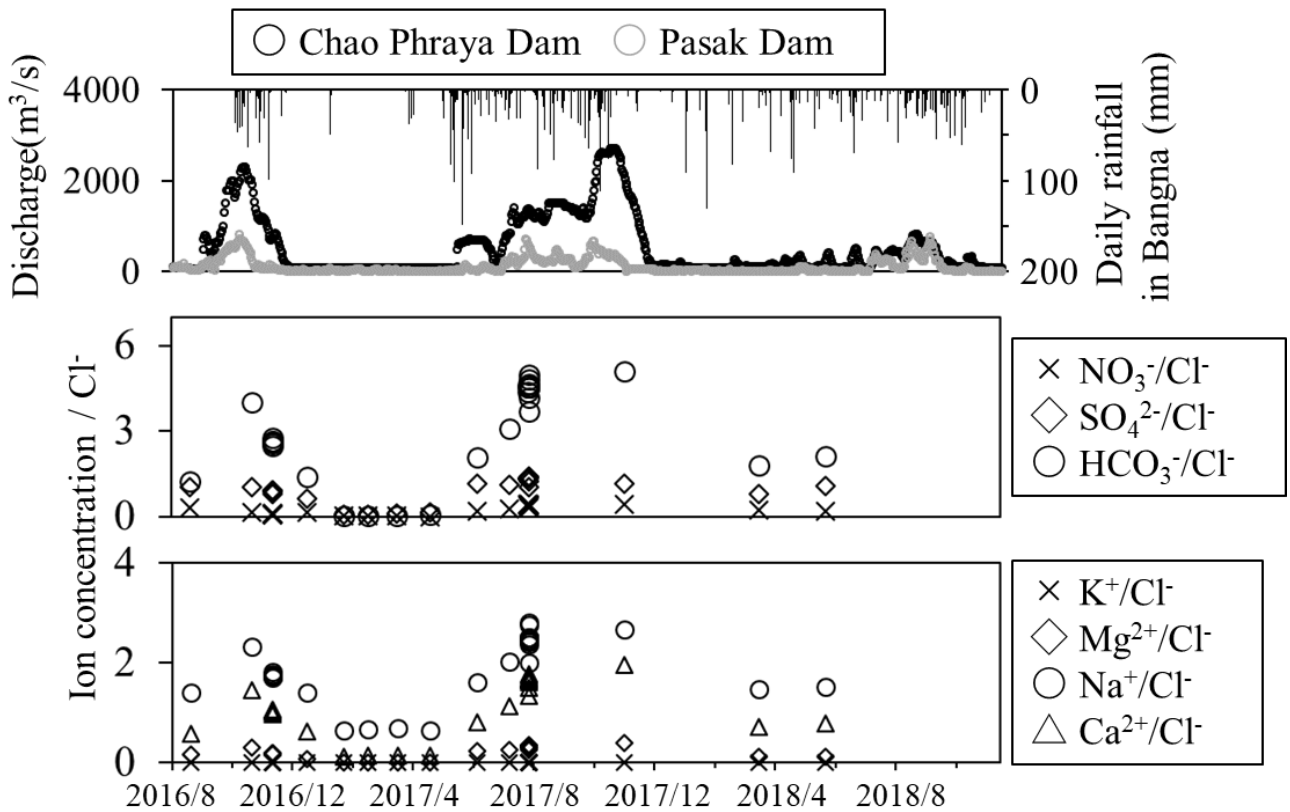


図-2 No.10 Saphan Taksin における 2016 年 8 月～2018 年 6 月までの溶存イオン濃度の Cl 比, Bangna の降水量, Chao Phraya ダムと Pasak ダムの放流量の時系列変化

極法, サーミスタ法である。pHは観測日の前日にpH4フタル酸塩, pH7中性リン酸塩, pH9ホウ酸塩を用いて校正した。

溶存イオンは現地観測の際, 250 mLのポリ瓶に採水し, 日本に持ち帰った後, 実験室で分析した。溶存成分の分析項目はアルカリ度, Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} の9項目である。アルカリ度の分析方法は滴定法であり, それ以外の溶存イオンは孔径 $0.45\mu\text{m}$ のメンブレンフィルターでろ過した後, イオンクロマトグラフを用いて測定した(陽イオン: Thermo ICS1600, 分離カラム IonPac CS12A, 溶離液 20 mmol/Lメタンスルホン酸, サプレッサー CSRS500; 陰イオン: Thermo ICS1600, 分離カラム IonPac AS22, 溶離液 4.5 mmol/L Na_2CO_3 /1.4 mmol/L NaHCO_3 , サプレッサー ADRS600)。

4. 観測, 分析結果

図-2 は本研究で最多の観測データが存在する No. 10 Saphan Taksin の溶存イオン濃度の Cl 比の時系列変化である。図-2 には, 2016 年 8 月～2018 年 11 月における Bangna (図-1) の降水量, Chao Phraya Dam と Pasak Dam の放流量も併記した。Chao Phraya 川流域では 5～10 月(雨期)と 11～4 月(乾期)が明瞭に分かれている¹⁰⁾。そのため, Chao

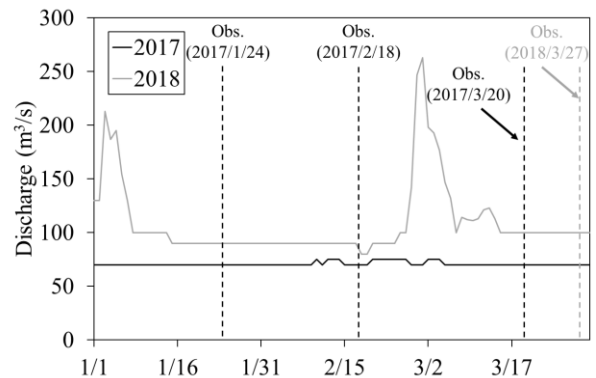


図-3 2017, 2018 年の 1～3 月の Chao Phraya Dam の放流量と No. 10 Saphan Taksin の観測日

Phraya Dam では, 灌漑用水へのマネジメントを行うために, 雨期は自然放流, 乾期は主に $70\text{m}^3/\text{s}$ の一定放流という季節によって特徴的な放流操作を実施している。その結果, 11～4 月に EC, 海水起源の溶存イオンが上昇する季節変化がある¹⁰⁾。従って, 図-2 は各溶存イオン濃度を Cl 比で示した。 NH_4^+ は観測期間中, 一度も検出されなかったため, 図-2 には示していない。 K^+ を除いた溶存イオン濃度の Cl 比は河川流量の季節変化と同様に, 雨期に上昇し, 乾期に減少する季節変化が観測された。特に, 地質起源である HCO_3^- , Na^+ , Ca^{2+} は季節変化が顕著である。Chao Phraya 川の支川である Pasak 川は他のタイ国内の河川と比較して, Ca が高く, 雨期の期間では溶

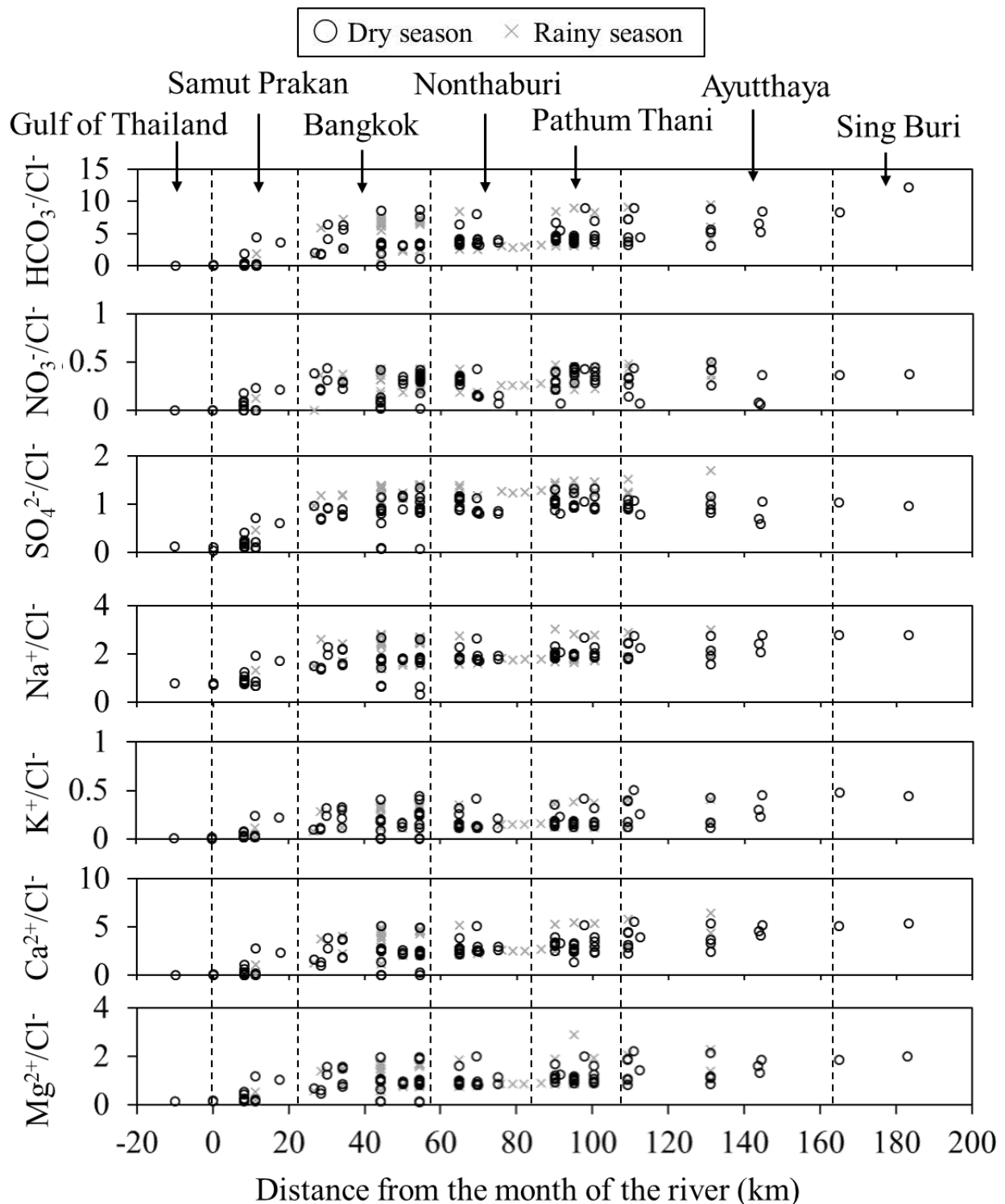


図-4 2016年8月～2018年6月までの溶存イオン濃度の河川縦断分布

解し切れない石灰岩が、固体のまま浮遊物として河川を流下している。その結果、No. 10 Saphan Taksin では雨期に地質由来の溶存イオン濃度 (HCO_3^- , Na^+ , Ca^{2+}) が増加したと考えられる。詳細に確認すると、2018年3月は2017年3月と比較すると各溶存イオン濃度の Cl 比が高い。特に、2017年1～3月の陰イオン濃度の Cl 比は概ね0付近である一方、2018年3月の SO_4^{2-} , HCO_3^- は0.8, 1.8である。図-3 は2017, 2018年の1～3月の Chao Phraya

Dam の放流量と No. 10 Saphan Taksin の観測日である。Chao Phraya Dam の放流量は2017年と2018年の一部の時期を除いて一定である。しかし、2017年11月～2018年4月は乾期にも関わらず、2016年11月～2017年4月と比較して、降雨日数、降雨量ともに多い(図-2)。その結果、乾期でも自然放流もしくは、平時より $30 \text{ m}^3/\text{s}$ 多い、 $100 \text{ m}^3/\text{s}$ の一定放流を行っており、2018年3月の溶存イオン濃度の Cl 比が高くなったと考えられる。

図-4 は 2016 年 8 月～2018 年 11 月までに観測した各溶存イオン濃度の Cl 比の縦断的分布である。図-2 より 5～10 月 (雨期) と 11～4 月 (乾期) で水質特性が大きくことなるため、図-4 ではそれぞれ雨期、乾期凡例を分けて示した。雨期、乾期ともに、流下するにつれ、溶存イオン濃度の Cl 比が低くなる空間的特徴が明らかになった。河口から 80～90km において、河川縦断的不連続で特徴的な溶存イオンの結果が得られた。これは Chao Phraya 川に接続する中小河川からの流入によるものであると考えられる。図-1 に示す No.18 は Chao Phraya 川下流域と Rangsit 運河と合流する地点 (河口から約 80 km 上流) である。Rangsit 運河は人口的に建設された勾配が非常に緩やかな用水である。このことから、河口から約 80 km 地点において特徴的な溶存イオン組成を示す原因は運河からの流入による希釈であると考えられる。

5. まとめ

本研究では Chao Phraya 川下流域の水質の季節変化と空間変化を明らかにするために、2016 年 8 月～2018 年 11 月にかけて、定期的に pH、EC、水温、溶存イオン濃度の観測、分析を実施した。

No. 10 Saphan Taksin において、定点観測を実施した結果、溶存イオン濃度の Cl 比はダムの放流量と同様に 5～10 月 (雨期) に上昇し、11～4 月 (乾期) に減少する季節変化が明らかになった。この要因は、ダムの放流量が増加したことにより、河川水中に地質由来の溶存イオンが溶出したからであると考えられる。観測年が異なる同月の観測結果を比較すると、ダムの放流量に応じた、水質の変化が明らかになった。従って、Chao Phraya 川下流域の水質特性は Chao Phraya Dam の放流量が強く影響を与えていると推測される。

2016 年 8 月～2018 年 11 月にかけて、34 地点の河川水を対象に縦断観測を実施した結果、雨期、乾期ともに、流下するにつれ、溶存イオン濃度の Cl 比が低くなる空間的特徴が明らかになった。これは Chao Phraya 川に接続する中小河川からの流入によるものであると考えられる。特に、河口から 80～90km において、河川縦断的不連続

で特徴的な溶存イオンの結果が得られた。

謝辞：本研究は、JSPS 科研費 15H05222 と JST/JICA SATREOS の助成を受けたものである。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) WEPA 事務局 ((公財) 地球環境戦略研究機関) : アジア水環境パートナーシップ [WEPA] アジア水環境管理アウトLOOK 2018, pp.112-121, 2018.
- 2) Pollution Control Department Ministry of Natural Resource and Environment: Booklet on Thailand State of Pollution 2018, 2019.
- 3) 南勲 : 水文・気象の特徴 : Chao Phraya 河における塩水侵入と河川流量, 東南アジア研究, Vol.3, No.4, pp.78-82, 1966.
- 4) Muttamara, S. and Sales, C.L.: Water quality management of the Chao Phraya River (a case study), Environmental Technology, Vol.15, No.6, pp.501-516, 1994.
- 5) 都筑良明, タマラット・クータテップ, MD マフィツァー・ラーマン : 河口付近の水質遷移を中心とするバンコク, ダッカ周辺河川・運河の感潮域の水質分布, 水環境学会誌, Vol.32, No.1, pp.47-52, 2009.
- 6) 小関嘉一, 市川純二, 八木橋正久, 堀井潔 : タイ国灌漑技術センターの水文解析分野の技術協力, 農業土木学会誌, Vol.67, No.12, pp.1321-1326, 1999.
- 7) 小林純 : 東南アジア諸国の河川の化学的研究 タイ国の水質について, 農学研究, Vol.46, No.2, pp.63-110, 1958.
- 8) Horiuchi, Y., Matsuura, T., Tebakari, T., Wongs, S.: Meta-analysis of water quality characteristics in the lower Chao Phraya River, Thailand, Proceedings of the 22nd IAHR-APD Congress (Sapporo), 2020.
- 9) 手計太一, 道谷健太郎, 下坂将史, スヴァンピモルボンサコーン : タイ国 Chao Phraya 川流域における多雨・少雨パターンに関する研究, 土木学会論文集 G (環境), Vol.71, No.5, pp.I_269-I_576, 2015.
- 10) 堀内雄介, 松浦拓哉, 手計太一, Wongs, S. : タイ国 Chao Phraya 川下流域の水利水質特性, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.75, No.2, pp.I_415-I_420, 2019.