

東北タイメコン河流域における 環境共生型都市を目的とした物質循環とリスク評価

Transport and risk assessment of Environmental Impact Chemicals in the Mekong basin of northeast Thailand: Towards an eco-city

佐々木 寧*, 小松 登志子**, 王 青躍**, 田中 規夫*, 湯谷 賢太郎*

Yasushi SASAKI, Toshiko KOMATSU, Qingyue WANG, Norio TANAKA and Kentaro YUTANI

The purpose of this research is to investigate the transport and risk assessment of Environmental Impact Chemicals (EICs) in the Mekong (Mae Nam Khong) basin of northeast Thailand. The two collaborating partners in Thailand are Ubon Ratchathani University and Khon Kaen University. Scientists of Saitama University visited these two universities and their research facilities. As the first step of the project, water quality parameters of 13 stations in Mekong and Moon River (branch of Mekong River) were measured. Hydraulic data of the basin were obtained from Water Resource Office of Hydrology (Khong Chiam Office and Ubon Ratchathani Office). Three wastewater treatment plants were visited and some water quality data of influent and effluent were collected.

A meeting with professors and administrators (including Dean of faculty of Science) from both the universities in Thailand and Saitama University was held to discuss the research plans and further research collaborations. Following the discussion, some heavy metals and pesticides were selected as the specified EICs to be investigated in the project.

Keywords: Mekong Basin, Environmental Impact Chemicals, Eco-city, Risk assessment

開発の進む都市域においても、健全な生態系を維持することは重要な課題である。とくに、経済的な躍進が進むアジア各国の都市においては、急激な都市の膨張に伴って秩序ある生態・環境系が失われつつあり、

*埼玉大学 工学部 建設工学科

Department of Civil & Environmental Engineering,
Faculty of Engineering, Saitama University, 255
Shimo-Okubo, Sakura-ku, Saitama, Saitama, 338-8570,
Japan

**埼玉大学大学院 理工学研究科

Graduate school of Science and Engineering, Saitama
University, 255 Shimo-Okubo, Sakura-ku, Saitama,
Saitama, 338-8570, Japan

緊急を要する課題となっている。とくに揮発性有機物、重金属類、多環芳香族炭化水素類 (PAHs)、栄養塩類などの環境インパクト化学物質 (EICs; Environmental Impact Chemicals) による環境汚染、とりわけ重金属類や PAHs には微量でも生態系にとって有害である。こうした EICs の移動・変換・蓄積機構の解明、さらに生態・環境系への影響も考慮した適切な安全性評価は欠かせない。

本プロジェクトでは、生態学・数理生態学、水圏・地圏・気圏環境工学の分野の研究者が緊密な連携と共同研究を進め、生態モデルの開発技術や、水圏・地圏・気圏の環境解析技術を基盤とした、EICs の環境中での移動・変化・蓄積機構、生態・環境系に与える影響の

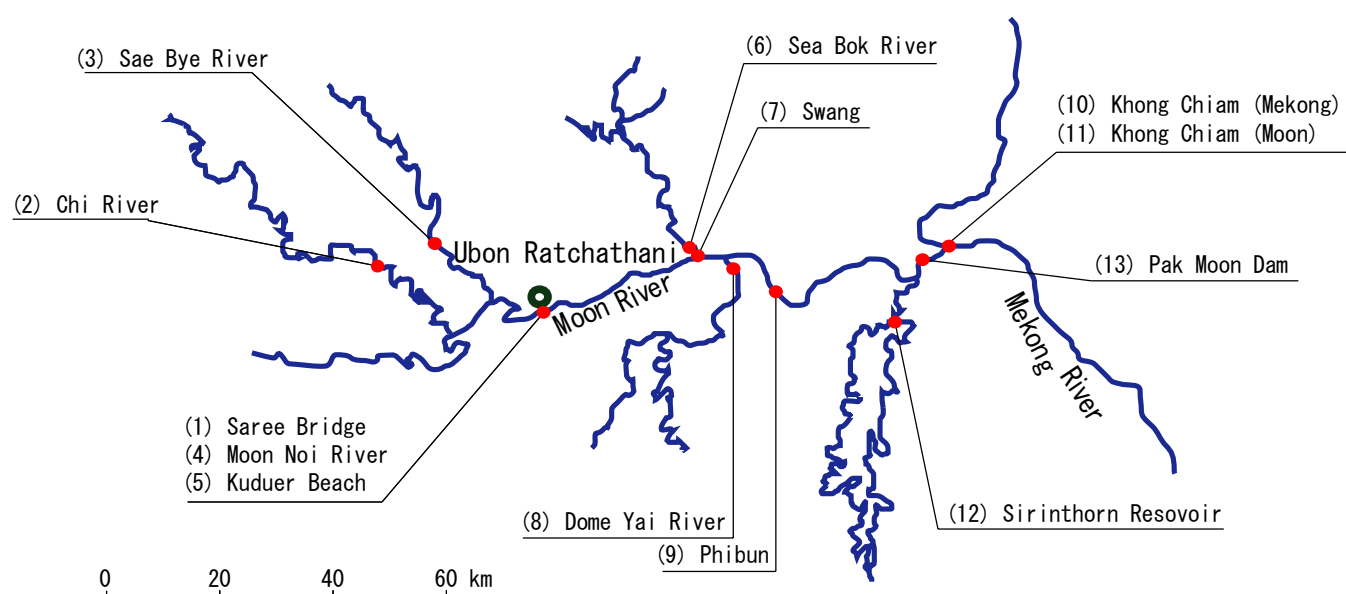


Fig. 1 Water sampling points in Mekong River, Moon River and tributaries.

定量的評価を行い、EIC の安全性評価を行うとするものである。研究対象地域として、さいたま市、およびタイの中堅都市・河川を選定し、ウボン・ラチャタニ大学、コンケン大学と協力して研究を行う計画である。プロジェクトは予備調査として、以下に報告するように進められている。

1. メコン河流域河川の水環境

本研究ではEICs の物質循環経路として、特に水循環と一体化した移動経路に着目している。EICs は水とともに移動することが多く、さらに、メコン河やその支流の河川水は、農業・漁業や生活用水などとして住民の生活を支えている。そのため、ひとたび何らかの変化が起こればその影響は大きく、安全性評価の重要性が高い。以下では、タイ東北部のメコン河流域における、水質環境と水文環境について、調査結果を述べる。

1.1 メコン河流域の水質環境

ウボン・ラチャタニ県周辺において、メコン河および支流のムン河等において、特に有機物汚濁に着目し、水質調査を実施した。ウボン・ラチャタニ大学のWanwalai 教授の案内の下、同教授が定期的に採水と分析を行っている地点において、多項目水質計（HORIBA U-22XD）を用いて水質を測定した。採水は地点



Fig. 2 Water sampling point (7) Swang.

(1) (3) (4) (8)では橋の上から、(2) (6) (7) (9) (10) (11)は船をチャーターし、その船上から、(5) (12)では栈橋の上から、(13)の Pak Moon Dam では堤体上から行った。なお、採水はタイ側協力者（Wanwalai 教授の学生）の協力により実施した。

Fig. 1 に水質調査を行った地点の位置を、Table 1 に調査結果を示す。水質の調査結果を見ると、どの地点においても比較的良好な水質環境が保たれているように思われる。しかし、魚の畜養が行われている(7)Swang (Fig. 2)、水遊びに用いられている(9)Phibun (Fig. 3)、水上レストランがあり観光地化している(11)Khong Chiam (Mekong) (Fig. 4) では、pHの上昇が見られ、人間活動が河川水質に影響を与えているこ

とが示唆される。特に Phibun では、以前は汚水が直接流れ込む排水口が近くにあり、水質が非常に悪かったそうであるが、近年排水口の位置をさらに下流に移すことによって、水質の改善を図ったそうである。これは、根本的な解決策にはなっておらず、排水口近くの水質を測定すべきであったが、今回は時間の都合上測定できなかった。

今回の調査で、メコン河、ムン河および支流において、顕著な水質の悪化は見られなかった。しかし、上述地点(7)(9)(11)のように局地的であれ、人間活動によって水質が影響を受けていることが明らかとなった。

1.2 メコン河流域の水文環境

雨季と乾期が存在し、特に雨季において、多量の降水に見舞われるタイでは、EICsの移動を解析する上で、年間の水文データを収集することは不可欠である。メコン河、ムン河、その他支流には 244 の水位観測地点が存在し、その地域の Water Resource Office of Hydrology が観測を行っている。この観測拠点はタイ全土に 40 箇所ある。また、前述の観測拠点では、気温、湿度、降水量、蒸発量等の水文データも観測している。今回訪れた地域には Ubon と Khong Chiam に Office が存在するが、そのうちの Khong Chiam の Office を訪問し説明を受けた (Fig. 5)。



Fig. 3 Water sampling point (9) Phibun.



Fig. 4 Water sampling point (11) Khong Chiam (Mekong).

Table 1 Observation results of water quality in Mekong River, Moon River and tributaries.

	Location	Conductivity (μ s)	pH	Water Temp. ($^{\circ}$ C)	TDS (mg/l)	DO (mg/l)	Turbidity (NTU)	ORP (mV)
(1)	Saree Bridge	302	7.10	23	200	8.7	51	**
(2)	Chi River	272	6.99	21.3	180	11.0	140	**
(3)	Sae Bye River	589	7.13	24.6	380	10.0	24	187
(4)	Moon Noi River	504	6.52	22.8	320	8.3	54	240
(5)	Kuduer Beach	301	7.27	24.9	200	9.2	58	223
(6)	Sea Bok River	423	7.72	25.4	280	9.4	31	217
(7)	Swang	417	8.19	26.3	270	11.1	84	205
(8)	Dom Yai River	107	7.66	26.6	70	7.0	20	217
(9)	Phibun	423	8.36	26.2	280	10.3	**	200
(10)	Khong Chiam (Mae Khong)	215	8.09	23.9	140	8.6	13	275
(11)	Khong Chiam (Moon)	150	7.03	26.3	100	8.0	10	281
(12)	Sirinthon Reservoir	26	6.95	26.0	20	6.4	30	272
(13)	Pak Moon Dam	160	7.07	26.7	100	7.9	16	257



Fig. 5 Meeting with the staff of Khong Chiam Water Resource Office of Hydrology.



Fig. 6 Pak Moon Dam.

ムン河の水位は、メコン河との合流点付近に位置する Pak Moon Dam (Fig. 6) により影響を受ける。この地域では 2001 年に大規模な洪水を経験しており、その際には Pak Moon Dam の全ゲートを開放したそうである。

また、Wanwalai 教授より Ubon 観測拠点での観測データの提供を受けた。Fig. 7 には 2001 年のムン河の水位、降水量の観測結果と水位と流量の関係、Fig. 8 には 2001 年の気温と湿度の観測結果を示す。タイは一般的に 5 月から 10 月が雨季とされ、降雨に伴って河川の水位は上昇する。2001 年にはムン河の水位は、雨季には乾期と比較して 8 m 近く上昇したことが分かる。また、ウボン・ラチャタニ周辺は 1 年を通して高温多湿であり、年間の平均気温は 28 °C 前後である。3 月から 4 月は特に暑く、最高気温が 40 °C を超えることもある。

今回の訪問により、研究対象地域の過去の水文データを入手できたこと、また、今度も継続的に入手することが期待できる体制を構築できたことは大きな収穫

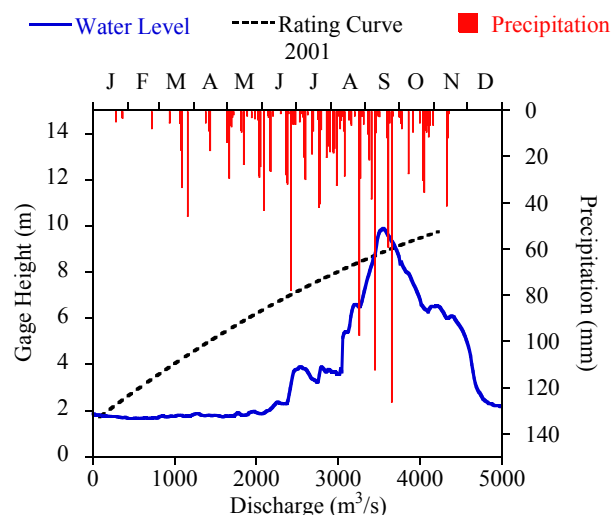


Fig. 7 Daily average water level, precipitation and rating curve at Ubon in 2001.

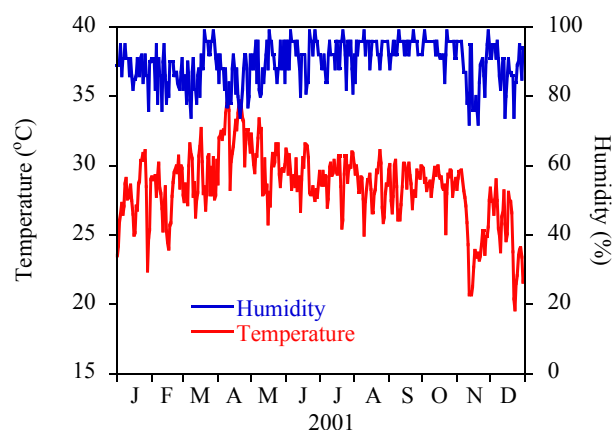


Fig. 8 Daily average temperature and humidity at Ubon in 2001.

である。

2. 都市下水処理システム

EICs のうち、窒素やリンは家庭から排出されることが多い。その場合、下水処理場を調査することにより、環境中への流入量の概算を知ることが可能である。そこで、ウボン・ラチャタニ市内の 2 つの下水処理場とウボン・ラチャタニ大学の下水処理場を訪問し、流入・流出水の水質データを入手するとともに、下水処理施設の視察を行った。

2.1 Warinchamrap 地区下水処理場

この処理場はウボン・ラチャタニ市 Warinchamrap 地区の下水処理を行っている。この処理区の下水排除方

式は合流式である（雨水と汚水が同一の管で排除される方式）。したがって、乾季は良いが、雨季には処理容量を超えた雨水と汚水の混合下水が未処理で放流されることになる。処理区の人口は 160,000 人で、処理人口は約 35,000 人である（約 20 %）。

この処理場の処理方式は酸化池（lagoon）法で、3 池ある。第 2 池のみにエアレーション装置がいくつか設置されている。第 1 池には Fig. 9 のように大量のホテイアオイが酸化池の表面を覆っており、栄養塩(N、P)の除去には良いが、水面からの酸素の供給という意味では問題である。水面が覆われることによって酸素がとけ込みにくくなり、酸化池として機能しなくなる恐れがある。ホテイアオイの導入は、第 2 池あるいは第 3 池（Fig. 10）で行う方が適切であろう。

流入下水と処理下水の水質については、今回提示されたデータからは、処理後の水質の方が悪化しているという状態である。例えば、流入水の BOD、COD はそれぞれ、9.8、32 mg/l であるが、処理水は、それぞれ、22.8、80 mg/l であり、いずれも 2 倍以上の値を示している。3 池を通過する間の時間差はあるとしても、これでは処理されていることにならない。処理池の中で、光合成による再生産（藻類の増殖）や底泥からの溶出が起こっていると考えられる。実際に第 3 池ではかなりのアオコの発生がみられた。酸化池のエアレーションやホテイアオイによる栄養塩類の吸収を適切に組み合わせて、より効率的な処理を行う必要がある。

2.2 Ubon City 下水処理場

Ubon City 下水処理場は 7 年前に建設された。下水排除方式は合流式で、2 つのポンプ場がある。処理区域の人口の 50 %、55,000 人分の処理をしている。処理能力は最大 22,000 m³/day で、現在の処理量は 9,000 m³/day である（Fig. 11）。

処理方式は酸化池（lagoon）法で、2 池ある。第 1 池にはエアレーション装置がいくつか設置されており、第 2 池は沈殿池である。流入下水の BOD は 95 mg/l、10 mg/l というデータが提示された。除去率は約 90 % である。しかし、実際に沈殿池を視察したところ、Fig. 8 のように富栄養化のために相当量のアオコが発生し



Fig. 9 First lagoon of Warinchamrap wastewater treatment plant covered with *Eichhornia crassipes*.



Fig. 10 Third lagoon of Warinchamrap wastewater treatment plant covered with thick Water Bloom.



Fig. 11 Meeting with the staff of wastewater treatment plant in Ubon city.

ており、結局、Warinchamrap 地区の下水処理場の場合と同様に、酸化池で有機物(BOD)を除去しても、栄養塩(N、P)が十分に除去されないため、沈殿池内で、光合成による有機物（藻類）の再生産が起こっている。こ



Fig. 12 Second lagoon of Ubon wastewater treatment plant covered with thick Water Bloom.

のため BOD 除去率は約 90 % という値をその通りに受け取ることはできない。特にタイのような気温が高く、日射も強い地域では、光合成による再生産に注意しなければならない。そのためには N、P 除去を考える必要があるだろう。

また、Warinchamrap 地区の下水処理場の場合と同様に、この排水区では合流式排除方式であるため、雨季には雨水と汚水の混合した排水がそのまま、未処理で水域に放流される。この問題も今後解決していく必要がある。

2.3 ウボン・ラチャタニ大学下水処理場

大学内の下水排除方式は分流式（雨水と汚水が別々の管で排除され、雨水はそのまま放流、汚水は処理場で処理される）であり、合流式のような問題点はない。

キャンパス内には 3 つのゾーン（1. 研究施設、2. 宿舎・食堂、3. 農場）があり、それぞれのゾーンに沈殿池とオイルトラップが設置されている。下水処理量は学生、スタッフ 6,000 人分、3,000 m³/day である。

処理の方式は、以下の通りである。（ ）内は滞留時間。

酸化池（5 日） → 沈殿池（3 日） →
人口湿地（5 日） → 最終沈殿池（5 日）
→ 放流

酸化池にはエアレーション装置が設置されている（Fig. 13）。

人工湿地にはびっしりとボタンウキクサが生えており、繁殖し過ぎで困っているとのことである（Fig. 14）。栄養塩を吸収して繁茂する植物は湿地から物理的



Fig. 13 Aeration lagoon of wastewater treatment plant in Ubon Ratchathani University.



Fig. 14 Constructed wetland covered with dense *Pistia stratiotes* in Ubon Ratchathani University.



Fig. 15 Final sedimentation pond of wastewater treatment plant in Ubon Ratchathani University.

に取り除くしか方法はないので、定期的に除去することが必要である。水質については、流入水の BOD、COD はそれぞれ、50 から 60、50 mg/l であり、処理水は、それぞれ、9 から 10、31 mg/l である。BOD、COD の除去率はそれぞれ、80 %、40 % 程度である。最終沈殿池

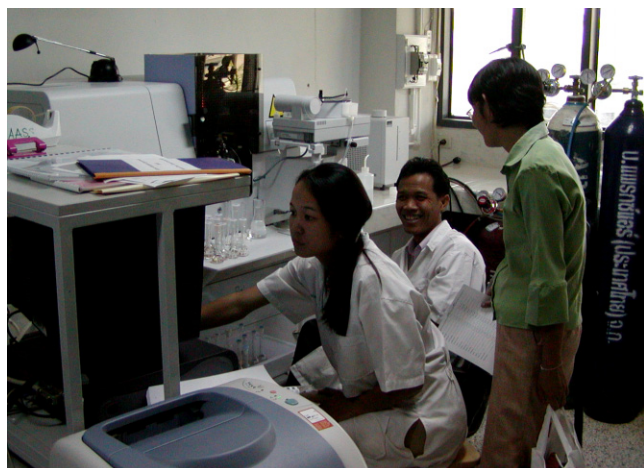


Fig. 16 Water and water quality assessment laboratory of Ubon Ratchathani University.

でのアオコの発生はごくわずかであった (Fig. 15)。

処理水は公共の貯水池に放流され、一部はキャンパス内の散水用に使用されているということである。この処理場では下水処理と維持管理、モニタリングを行っている。

3. 今後の共同研究について

タイ側の研究協力者の一つである、ウボン・ラチャタニ大学を訪問し、研究に必要な機器や測定可能項目などについて調査を行った (Fig. 16)。ウボン・ラチャタニ大学で測定可能な水質項目は、窒素やリン、BODなどの基本的なパラメータのほか、重金属類や農薬類も測定可能な機器が揃っており、その機器を操作する技術も持ち合わせていた。そのため、共同研究を進める上で、タイ国内において水質測定を行うことが可能と判断した。

タイ訪問最終日に、今後の共同研究についてコンケン大学、ウボン・ラチャタニ大学 (Wanwalai 理学部長を含む) の研究者と意見交換を行った (Fig. 17)。その結果、今後タイ東北部メコン河流域で注目すべきEICsとしては重金属類と農薬類であるということ、特に農薬類では 2, 4-D に注目して研究を進めていくことを確認した。

参考文献

本研究に関連する著者らの研究業績を以下に列挙する。

1) 佐々木寧, 稲垣秀輝, 藤原靖, 大野博之, タイ・メ



Fig. 17 Meeting with scientists of Ubon Ratchathani University and Khon Kaen University.

コン河沿いの地盤環境, 地盤工学会誌, 第 50 巻第 11 号, pp. 24-16, 2002.

- 2) Sasaki, Y., Samang, H., The Relationship between Forest and Water Resource along Mekong River by Using Satellite Images, Annual Report 2001 and Proceedings of the Second Workshop of the Sub-Project “Studies on Natural Environment and Culture in Asia (The Hydrosphere)”, pp.71-80, Academic Frontier Research Project, 2001.
- 3) Wang, Q., Lu, G., Sakamoto, K., Kim, H., Naruse, I., Yuan, J., Maruyama, T., Kamide, M., Sadakata, M., Experimental study on combustion and pollutant control of briquette, Energy & Fuels, Vol.14, pp.1133-1138, 2000.
- 4) Tanaka, N., Asaeda, T., Hasegawa, A., Tanimoto, K., Modelling of the long-term competition between *Typha angustifolia* and *Typha latifolia* in shallow water - Effects of eutrophication, latitude and initial advantage of belowground organs, Aquatic Botany, Vol.79, pp.295-310, 2004.