

令和元年6月18日現在

機関番号：12101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K15002

研究課題名(和文)環境コミュニティ形成によるジャカルタの溜め池評価と持続可能な維持管理手法の提案

研究課題名(英文) Sustainable management of urban lake in Jakarta and It's evaluation method by establishing environmental community

研究代表者

吉田 貢士 (YOSHIDA, KOSHI)

茨城大学・農学部・准教授

研究者番号：20420226

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：溜め池は本来、洪水緩和・水質浄化・生態系保全等の多面的機能を有しており、適切に保全し管理することにより、ジャカルタ水環境の改善または今以上の悪化を緩和することに大きく貢献することができると考えられるが、以前は1000箇所以上あったものが現在では300箇所程度までに減少している。ジャカルタの水環境をこれ以上悪化させないためには既存施設である溜め池の適切な管理と活用が、現状での対策として最も実現性が高いと考えられるが、管理主体となる環境コミュニティの形成が急務である。本研究では地域住民や現地研究者とともに優先度の高い溜め池を選定し、水質浄化・洪水緩和機能などから溜め池の有効性を検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

既存施設の保水・遊水機能を生かした治水は都市型洪水対策として重要視されており、主要河川に大規模ダムを持たないジャカルタ首都圏において有効な手法である。溜め池や遊水池は、都市のアメニティとしての水辺や緑地となり、小規模分散型であるがゆえに住民が身近に水質管理や洪水対策を考えることができるなどの効果も考えられ、本研究はその多面的な機能を生かすための科学的な知見を示す役割を持つ。河川区域に限られた構造物重視の治水から、土地利用も含めた流域治水への転換についても議論することができ、学術的かつ現場応用的な意義は高いと考えられる。

研究成果の概要(英文)：According to JICA feasibility reports, several flood controlling facilities or wastewater treatment plants were planned to construct, however settlement of living people relocation and land expropriation was very difficult in highly populated region. In this study, we focused on multi-functionality of urban lakes (situ and waduk) which is naturally or artificially developed. In Jakarta, about 1000 urban lakes were existed before, however number of them decreased around 300 until now. Reduction of urban lakes will accelerate the degradation of water environment in Jakarta, because urban lakes have multi-functionality for keeping water environment in suitable condition. Therefore, to conserve those lakes in adequate condition and in sustainable, quantitative evaluation of multi-functionalities were quite important in the view point of water purification and flood control in this region.

研究分野：環境水文学

キーワード：水環境 洪水 水質

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

世界屈指のメガシティであるインドネシアのジャカルタ首都圏では、歴史的に見ても多くの洪水が発生しているが、特に 2012 年以降、2013、2014、2015 年と毎年のように規模の大きい洪水に見舞われている。沿岸部の地盤沈下や海面上昇、降雨強度の増大、市街地拡大による排水量の増加などが原因として考えられ、抜本的な洪水対策が求められている。これまでの洪水対策では JICA の事前事業調査 (2009)<sup>1)</sup> により「カトゥランダム建設」「チリウン - チサダネ放水路」「モナス地下貯水施設」等のハード建設計画が検討されたものの、人口過密地域における住民移転や土地収用が容易ではなく対策が進んでいないのが現状である。一方、植民地時代に整備された多くの灌漑用溜め池は、土地利用の変化や水質汚濁に伴い有効な管理がなされておらず、市街地開発に伴って建設された遊水池と合わせて、堆砂、ごみ、地域住民との関係性の低下などの問題が山積している (Cynthia, 2014)<sup>2)</sup>。環境の悪化した溜め池は埋め立てられ宅地化される傾向にあり、以前は 1000 箇所以上あったものが現在では 300 箇所ほどまでに減少している (アミ, 2013)<sup>3)</sup>。溜め池は本来、洪水緩和・水質浄化・生態系保全等の多面的機能を有しており、適切に保全し管理することにより、ジャカルタ水環境の改善または今以上の悪化を緩和することに大きく貢献できると考えられるが、その効果の定量的な評価と管理主体となり得る受益者や行政への積極的・効果的な説明が必要となっている。

2. 研究の目的

近年頻繁に洪水に見舞われているジャカルタ首都圏において、約 300 カ所あるとみられる溜め池および遊水池を活用した洪水対策に関し、都市域の親水空間整備や地域住民を巻き込んだ維持管理などと合わせて、総合的かつ学術的に効用と問題点を評価し、持続可能な流域治水の方策を提示することを目的としている。行政による治水事業や都市圏内の溜め池・遊水池の管理状況を俯瞰した上で、数カ所を選んで現地調査を行い、治水効果、水質管理、水際の自然生態系、地元住民の関わり、歴史的経緯や意義、などを統合的に考察する。また、このような都市型溜め池のマネジメントシステムがインドネシアの都市の代表であるジャカルタで形成されれば、他の都市や国にも適用され、広範な地域に効果を広げることができると考える。

3. 研究の方法

インドネシア共和国のジャカルタ首都圏ジャボデタベックに位置する溜め池の中で 9 箇所の溜め池を抽出し現地調査を行った。近年の経済発展により都市域が急速に発展したため、富裕層が居住する地区と貧しい人々が暮らすスラムが隣接して位置し、都市計画が行き届かない無秩序な開発が進みつつある (佐藤, 2004)<sup>4)</sup>。調査対象地池を Fig. 1 に示す。また、各溜め池の概要を Table 1 に示す。水質浄化機能の分析項目は全窒素濃度と全リンとした。各溜め池の主な流入・流出口で採水し、帰国後に実験室で分析を行った。洪水緩和機能に関しては洪水のピーク流入量とピーク流出量の比であるピークカット率により評価した。

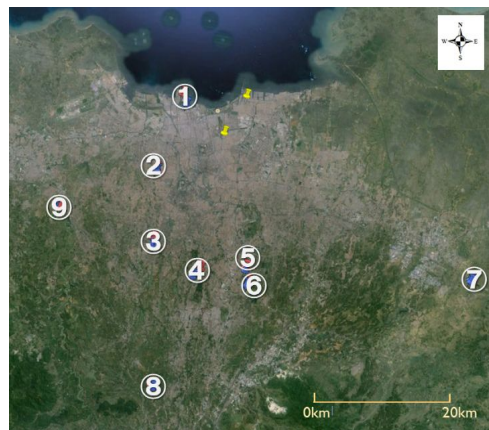


Fig.1 対象とした溜め池の位置

Table1 対象とした溜め池の概要

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
	Pluit	Hutan Kota Surenseng	Gintung	Babakan	Kerapa Dua Wetan	Rawa Dongkal	Binong	Tonjong	Cihuni
ため池周囲長(m)	4,140	530	4,280	3,690	1,350	1,750	1,990	2,930	2,080
ため池面積(m <sup>2</sup> )	745,000	14,000	239,900	320,000	54,700	120,200	170,000	144,400	325,000
護岸の複雑さ(m <sup>-1</sup> )	0.0056	0.0379	0.0178	0.0115	0.0247	0.0146	0.0117	0.0203	0.0064
水深(m)	2.39	1.71	9.82	2.11	1.49	2.03	1.01	1.18	3.17
貯留量(m <sup>3</sup> )	9,895	906	42,030	7,786	2,012	3,553	2,010	3,457	6,594
集水域面積(m <sup>2</sup> )	32,419,800		1,493,100	5,564,700	409,500	644,400	2,821,500	1,611,900	778,500
堰の形状	ポンプ排水	全幅堰	ラビリンス堰	全幅堰	もぐり堰	全幅堰	全幅堰	全幅堰	円管堰
用途	遊水池	遊水池	遊水池	遊水池	遊水池	遊水池	灌漑池	遊水池	遊水池

溜め池の多面的機能のひとつである水質浄化機能を評価するため、各溜め池の流量が極端に小さい流入口を除いた主な流入・流出口で採水し水質分析を行った。水質分析の結果から各分析項目の流入口と流出口の値を比較し、浄化率を求めた。浄化率は流入水量と流出水量が一致すると仮定して(1)式を用いて算出した。厳密には負荷量を算出して浄化率を計算する必要があるが、現地調査の際は降雨等の影響が無い日に観測を行っており、流入水量と流出水量の差は小さいもの考えられる。

$$\text{浄化率(\%)} = \frac{\text{流出口水質濃度}}{\text{流入口水質濃度}} \times 100 \quad (1)$$

溜め池の多面的機能のひとつである洪水緩和機能の評価方法は、溜め池への流入量の最大値と溜め池からの流出量の最大値を比較しピークカット率を算出する方法を用いた。ピークカット率の計算式を(2)式に示す。

$$\text{ピークカット率(\%)} = \frac{\text{最大流出量 (m}^3/\text{s)}}{\text{最大流入量 (m}^3/\text{s)}} \times 100 \quad (2)$$

ピークカット率算出にあたり、想定する洪水に対応した降雨が降った際の溜め池への流入量、ため池からの流出量の時系列をそれぞれ計算する必要がある。地表面への水の供給速度が浸透速度を超えると表面流が生じる。水が乾燥した土壌に始めに与えられる時、浸透速度は通常とても大きい。しかし、土壌が湿ってくるにつれてその値は小さくなる。また、供給速度が浸透速度よりも大きいと表面の窪みに降雨が溜まり始める。さらに供給速度が浸透速度よりも大きい状態が続くと、表面流が生じる。つまり、豪雨時の溜め池への流入水は表面流出成分が大部分を占めると考えられ、本研究では表面流を仮定した Curve Number 法を採用することとした。流入量の算出には、集水域の土地利用のうち、市街地、畑地、森林、水域はカーブナンバー法を用い、アジア特有の土地利用形態である水田については別途に水田貯留モデルを用いた。

#### 4. 研究成果

流入・流出口における全窒素濃度および浄化率を Fig.2-1, 2-2 に示す。棒グラフが流入口と流出口の全窒素濃度を、数字が浄化率を表している。まず、全窒素濃度は3月に比べ8月に数値が高くなっている。8月は乾季であり降水量も少ないことから排出源は家庭からの排水が主

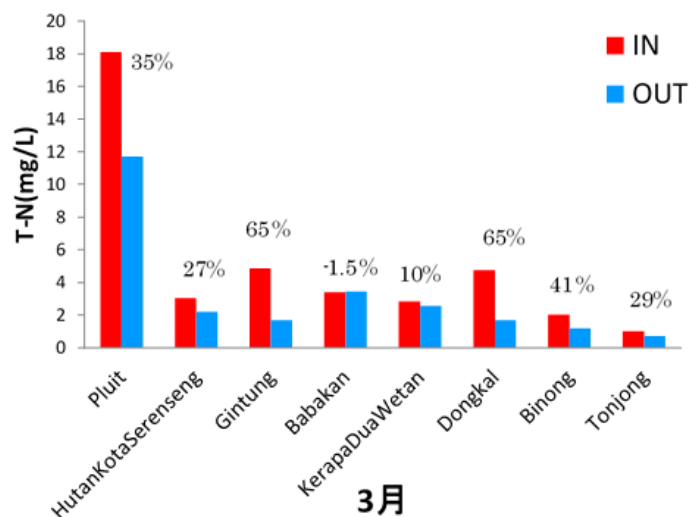


Fig.2-1 流入・流出口の全窒素濃度および浄化率 (雨季)

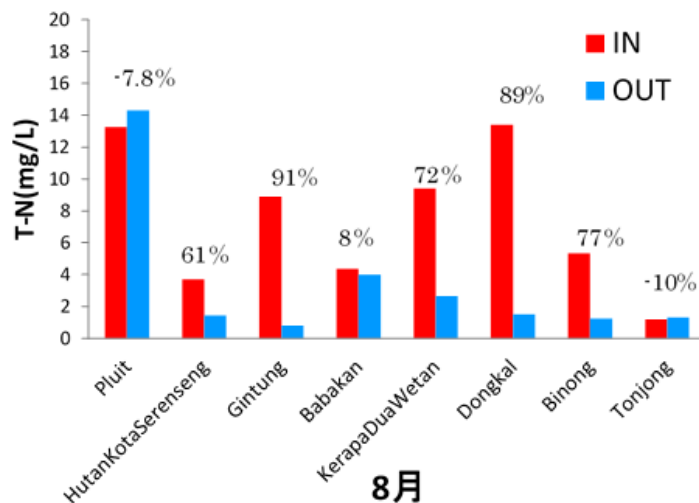


Fig.2-2 流入・流出口の全窒素濃度および浄化率 (乾季)

であると考えられる。そして集水域からの流出流量が減少することから、あまり希釈されず T-N 濃度が高くなったと考えられる。また、3月、8月ともに Pluit で高い値を示した。これは Pluit 集水域の大部分が市街地であること、またジャカルタ首都圏の最下流にあり多くの家庭排水が集まるためと考えられる。HutanKotaSerehseng や Tonjong では Pluit とは逆に3月・8月ともに低い値を示した。これは、汚濁源とされる市街地や畑地が少ないからであると示唆される。

調査した溜め池の多くでは、流入口より流出口の方が T-N 濃度が低く、平均で 41.1%の浄化率であった。このことから、多くの溜め池が窒素浄化機能を有していることが示された。浄化率は雨季である3月に比べ、乾季である8月の方が大きい結果となった。これは乾季の流入量が減少し、ため池での滞留時間が長くなるためと考えられる。また乾季は降雨量が少なく、先述のように流入水の大部分は家庭雑排水で占められる。そのため溜め池に流入してくる T-N 濃度は高濃度となり、脱窒速度は窒素濃度が高いほど速くなる。これらの理由から、乾季である8月の浄化率が雨季と比べて高い値を示したものと考えられる。

リンも窒素と同じく富栄養化の代表的な原因物質の一つである。リンの発生原因としては、生活排水や火力発電所等からの排水放出、水田等の還元土壌におけるリン酸態リンの溶出、畑地での肥料成分が豪雨時に懸濁態として土壌と共に流出する等の原因が挙げられる。また、窒素が脱窒作用により窒素ガスとして大気に放出され浄化されるのと異なり、リンは土壌コロイドに吸着されて溜め池内に沈降し蓄積する。湖底に蓄積したリンは還元状態（嫌氣的状態）になると水中に溶出する性質を持つ。本研究では溜め池内におけるリンのトラップについても下流へのリンの流出が減少するという広義での浄化作用と定義して検討を行った。

各ため池の、流入・流出口における全リン濃度および浄化率を Fig.3-1, 3-2 に示す。棒グラフが流入口と流出口の全窒素濃度を、数字が浄化率を表している。図から、雨季である3月は多くの溜め池で浄化率が負の値となった。つまり、流入に対して流出が大きい結果となったが、

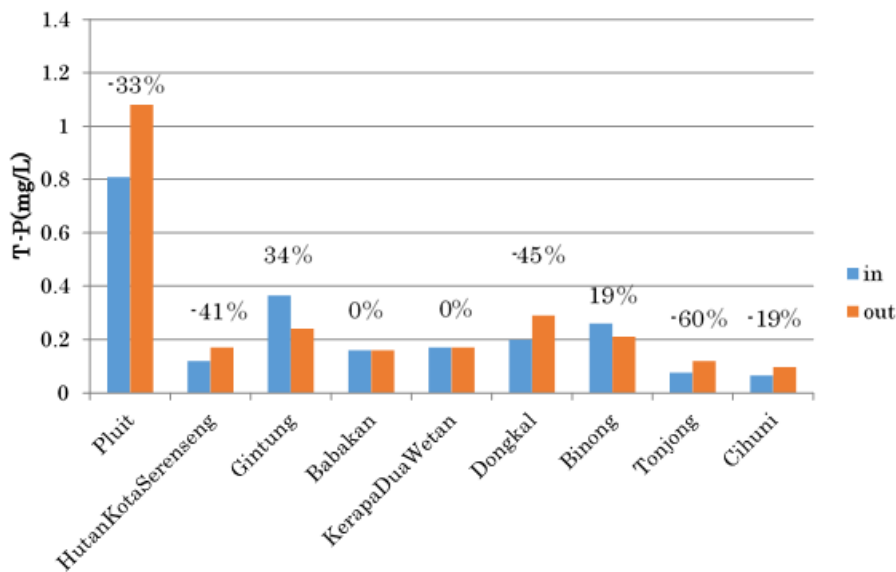


Fig.3-1 流入・流出口の全リン濃度と浄化率 3月(雨季)

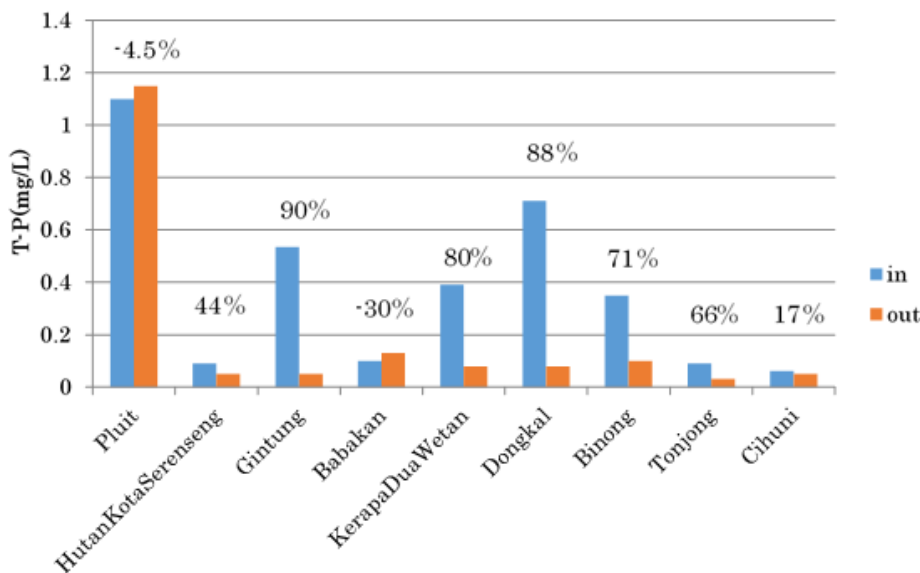


Fig.3-2 流入・流出口の全リン濃度と浄化率 8月(乾季)



この理由として流出口付近における溶存酸素が影響しているものと思われる。3月はD0が流入口・流出口どちらも低く、嫌氣的であった。そのため底泥中のリンが溶出したと考えられる。一方で、8月の流出口ではD0濃度が高く（飽和で8mg/L程度）酸化的な状態であった。このことから、8月は流出口でのリンの溶出が少なくなったのではないかと考えた。

洪水緩和機能を評価した結果を Fig.4 に示す。ピークカット率の最大値は Cihuni の 91%であった。この理由として、Cihuni は流出口が円管であるため最大通水断面積が円管の直径により決定される。このことにより、流入量が増加しても流出量はあまり増加しないため、最大流入量と最大流出量の差が広がりピークカット率が大きくなったと考えられる。また Cihuni は集水面積に対して溜め池面積の割合が大きく、流入水量に対して溜め池の水位があまり増加しない。実際、溜め池計算水位の最大値は 0.40mであった。また、Chifuni の護岸高さから推定される氾濫水位と比較すると、最大水位において洪水の恐れもないと判断された。一方で、ピークカット率の最小値は Gintung の 0.6%であった。Gintung はラビリンス堰であり、堰幅が 16.7m と今回の調査地では最大となっている。これより、Gintung は流入量をため池にあまり貯水せず流出するため、ピークカット率が極めて小さくなると考えた。実際、Situ Gintung は 2009 年 3 月 27 日に決壊事故を起こしており、77 名が死亡し 100 名の行方不明者がでている。改修工事により現在のラビリンス堰が設置されたが、再び決壊することがないように豪雨時のサーチャージ水位を低く抑えるように設計されているものと考えられる。また、ピークカット率と堰幅は比例関係にあることが示唆された。堰幅を小さくすればピークカット率が増加するが、その分サーチャージ水位も増加する。そのため、周囲の護岸高さを考慮した安全かつ洪水緩和機能を最大限発揮できるような流出口の水利構造について今後は検討する必要があると考えられる。

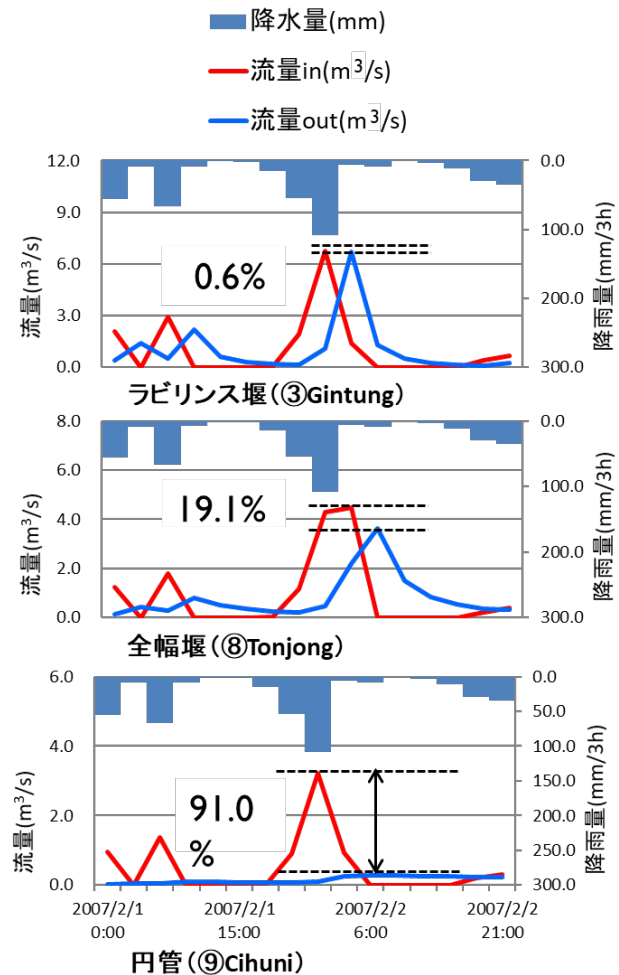


Fig.4 各溜め池における流入量・流出量の変化とピークカット率

インドネシアの溜め池の所有者は国であり、公共事業省が財産権を所有する。公共事業省は、管轄する溜め池数が多いため、実質的管理を各地方政府に委託している。しかし地方政府も溜め池管理以外に多くの役割を抱えており、専門的な知識を持った人材の不足や中央政府からの予算措置も十分ではないため、毎年一度のゴミ清掃など限定的な対策のみを行うだけで、定期的なモニタリングや近隣住民とのコミュニケーションなど溜め池の持続性を担保するための方策の実施については皆無といった現状である。一方で Situ Babakan や Situ Binong などの溜め池では周辺住民が独自に保全活動を行っている。しかし、住民の自助努力のみで行える活動には限りがある。上記のような現状の元、失われていく溜め池の多面的機能に着目し、それらを科学的に評価する多くの研究が行われているが、政策に反映されるまでには至っていない。そのため、行政・研究者・住民のあらゆる立場の人が有機的に協力し、溜め池の維持的管理を促すための仕掛け・ツールが必要ではないかと考えられる。

また、日本においても溜め池管理に関する多くの問題が指摘されており、今井ら（2009）<sup>5)</sup> は、兵庫県北播磨・東播磨地域が所有する溜め池について調べ、改修事業等の溜め池の存続にかかわる活動の費用負担が既に限界状態にあることを示した。本来の受益者である農業利用者が減少する中で、溜め池の管理を誰が行うべきか、また、そのための費用を支払うべき受益者がどのように変化したのか等、山積する問題を解決するツールとして、同様の議論が人口減少下の日本ヘフィードバックされることが期待される。

参考文献：

- 1) 独立行政法人国際協力機構 JICA 地球環境部：インドネシア国ジャカルタ首都圏水害軽減組

織強化プロジェクト終了時評価調査報告書,(2009)。

- 2) Cynthia H. and Ami. A. M. : Urban Lake in Megacity Jakarta: Risk and Management for Future Sustainability, *Procedia Environmental Sciences* (20), p. 737-p.746 (2014)。
- 3) アミ・アミナ・ムティア: ジャカルタのアーバンレック-新たな出会いの結節点, 人と自然, (6) p.26-27 (2013)。
- 4) 佐藤伸幸, 原田秀樹: インドネシア国ジャカルタ市における水環境問題の現状と課題についての研究, 環境システム研究論文集, 32, p11-p19 (2004)。
- 5) 今井ら: ため池に対する価値観が環境保全の態度と行動意図に与える影響, 農村計画学会誌. Vol.28, p.219-224 (2009)。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 6 件)

- 1) 吉田貢士: 農業衰退下における溜め池の持続的な維持管理に関する考察, 霞ヶ浦研究会報, 19号, 55-63, 査読無 (2018)。
- 2) 吉田貢士, 前田滋哉, 黒田久雄: 急激な土地利用変化がジャカルタの大規模洪水リスクに及ぼす影響, 応用水文, Vol.29, pp.51-59, 査読無 (2017)。
- 3) Keigo NODA, Koshi YOSHIDA, Hiroaki SHIRAKAWA, Usep SURAHMAN, Kazuo OKI : Effect of Land Use Change Driven by Economic Growth on Sedimentation in River Reach in Southeast Asia A Case Study in Upper Citarum River Basin, *Journal of Agricultural Meteorology*, Vol.73, pp.22-30 査読有 (2017)。
- 4) Koshi YOSHIDA, Kenji TANAKA, Keigo NODA, Koki HOMMA, Masayasu MAKI, Chiharu HONGO, Hiroaki SHIRAKAWA, Kazuo OKI : Quantitative Evaluation of Spatial Distribution of Nitrogen Loading in the Citarum River Basin, Indonesia, *Journal of Agricultural Meteorology*, Vol.73, pp.31-44 査読有 (2017)。
- 5) Yuki Jikeya, Koshi Yoshida, Shigeya Maeda, Hisao Kuroda: NITROGEN LOAD INFLOW TO LARGE SCALE RESERVOIRS IN THE CITARUM RIVER BASIN, INDONESIA, *Proceedings of the 16th World Lake Conference*, 434-441, 査読有 (2016)。
- 6) Koshi Yoshida, Ami Aminah Meutia, Satoru Itagawa, Hiroko Matsuda : EVALUATION OF FLOOD MITIGATION AND WATER PURIFICATION EFFECT IN URBAN LAKE, JABODETABEK, *Proceedings of the 16th World Lake Conference*, 420-427, 査読有 (2016)。

[学会発表](計 3 件)

- 1) Koshi Yoshida, Ami Aminah Meutia, Satoru Itagawa, Hiroko Matsuda : EVALUATION OF FLOOD MITIGATION AND WATER PURIFICATION EFFECT IN URBAN LAKE, JABODETABEK, *Proceedings of the 16th World Lake Conference*, 2016年11月10日, Bali Indonesia(2016)。
- 2) Yuki Jikeya, Koshi Yoshida, Shigeya Maeda, Hisao Kuroda: NITROGEN LOAD INFLOW TO LARGE SCALE RESERVOIRS IN THE CITARUM RIVER BASIN, INDONESIA, *Proceedings of the 16th World Lake Conference*, 2016年11月9日, Bali Indonesia (2016)。
- 3) 吉田貢士, 乃田啓吾: 持続可能な開発目標(SDGs)における水環境分野, 平成28年農業農村工学会大会講演会, 2016年9月2日, 仙台商工会議所会館 (2016)。

[図書](計 2 件)

- 1) 村松 伸, 岡部 明子, 林 憲吾, 雨宮 知彦 編: メガシティ 5 スプロール化するメガシティ, 第3章 (p.46-47, p.50-52) 東京大学出版会, ISBN: 978-4-13-065155-4, (2017)。
- 2) 村松 伸, 岡部 明子, 林 憲吾, 雨宮 知彦 編: メガシティ 6 高密度化するメガシティ, 第5章(p.184-188), 東京大学出版会, ISBN:978-4-13-065156-1, (2017)。

## 6. 研究組織

### (1)研究協力者

研究協力者氏名: アミ アミナ ムティア

ローマ字氏名: Ami Amuna Mutia

研究協力者氏名: シンティア ヘニ

ローマ字氏名: Heni Cynthia

研究協力者氏名: バユ グトモ

ローマ字氏名: Gutomo Bayu

研究協力者氏名: 板川 暢

ローマ字氏名: Satoru Itagawa

研究協力者氏名: 松田 浩子

ローマ字氏名: Hiroko Matsuda

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。