

マレーシア、サバ州における パームプランテーションがキナバタンガン川の水質に与える影響

真木 知穂^{1,2)}・芦野 友理奈³⁾・峯 藤 裕 司²⁾
吉田 剛 司⁴⁾・金子 正 美^{3,5)}・中谷 暢 丈^{1,6)}

The effect of the palm plantation on the water quality of
the Kinabatangan River in Sabah, Malaysia

Chiho SANAGI^{1,2)}, Yurina ASHINO³⁾, Yuji MINEFUJI²⁾,
Tsuayoshi YOSHIDA⁴⁾, Masami KANEKO^{3,5)} and Nobutake NAKATANI^{1,6)}

(Accepted 17 January 2013)

1. はじめに

サバ州は、ボルネオ島北部に位置するマレーシア13州の一つである。東マレーシアとも呼ばれ、周囲にはサラワク州、ブルネイやインドネシアが位置している(図1)。州面積は7万6,115 km²であり、日本国土面積の約5分の1である。この州には、東南アジア最高峰のキナバル山やセピロクオランウタンリハビリセンターなどがある。国内外から多くの人々が観光客として訪れており、2011年には263万人を上回っている¹⁾。このサバ州の東部に位置するキナバタンガン川は、全長560 kmの河川であり、流域面積(16,800 ha)はサバ州面積の約23%を占めている。この流域は、低地混交フタバガキ林が優占する広大な熱帯雨林が広がり、世界でも有数の野生動物の宝庫である。オランウータン(*Pongo pygmaeus*)やテングザル(*Nasalis larvatus*)等の霊長類のほか、哺乳類や爬虫類などの多種多様にわたる野生動物を見ることが出来るため、エコツアーが盛んに行われている。さらに2008年8月28日、サ

バ州東海岸のキナバタンガン河・セガマ河流域(The Kinabatangan-Segama Wetlands)は、ラムサール条約湿地として登録された²⁾。

現在、キナバタンガン川流域では森林破壊による野生動物の生息地減少など、様々な環境問題が起こっている。一般的にパームと呼ばれるアブラヤシ(*Elaeis guineensis*)のプランテーション開発が進み、その面積が拡大したことが森林面積減少の原因であると考えられている。一方、アブラヤシはマレーシアにおいて最も重要な産業の一つであり、各地に大小様々なアブラヤシ工場やプランテーションが存在している。マレーシアにおけるプランテーション面積は年々増加傾向にあり、1980年には102万haであったが、2008年には448万haに及んでいる³⁾。これは、世界的なパームオイルの需要増加が原因となっていることに加え、さらに中国やインドの経済発展において、パーム油の需要が増加したためだと考えられている⁴⁾。アブラヤシの果実の果肉部分からは、パームオイルが採油される。パームオイルは、1トン当たり日本円で約57,000円と他の油と比べ

¹⁾ 酪農学園大学環境システム学部生命環境学科水質化学研究室
Laboratory of Water Chemistry, Department of Biosphere and Environmental Sciences, Faculty of Environment Systems, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido 069-8501, Japan

²⁾ 酪農学園大学大学院酪農学研究科修士課程
Graduate School of Dairy Science, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido 069-8501, Japan

³⁾ 酪農学園大学環境システム学部生命環境学科環境GIS研究室
Laboratory of Conservation GIS, Department of Biosphere and Environmental Sciences, Faculty of Environment Systems, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido 069-8501, Japan

⁴⁾ 酪農学園大学農食環境学群環境共生学類野生動物保護管理学研究室
Laboratory of Wildlife Management, Department of Environmental and Symbiotic Science, College of Agriculture, Food and Environment Sciences, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido 069-8501, Japan

⁵⁾ 酪農学園大学農食環境学群環境共生学類環境GIS研究室
Laboratory of Conservation GIS, Department of Environmental and Symbiotic Science, College of Agriculture, Food and Environment Sciences, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido 069-8501, Japan

⁶⁾ 酪農学園大学農食環境学群環境共生学類水質化学研究室
Laboratory of Water Chemistry, Department of Environmental and Symbiotic Science, College of Agriculture, Food and Environment Sciences, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido 069-8501, Japan

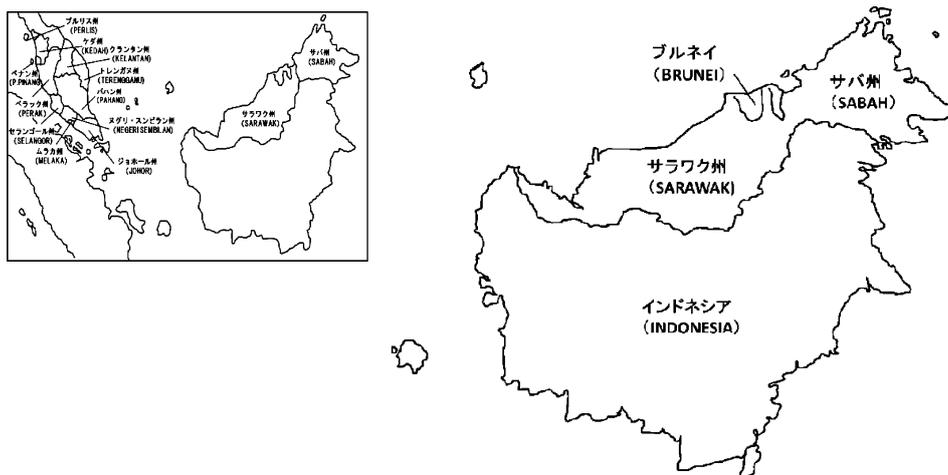


図1 サバ州および周辺地域の位置関係

て非常に安く、日本国内でも食品や洗剤等に広く利用されており、生活する上でなくてはならないものとなっている⁵⁾。また、アブラヤシは他の原材料と比較すると、天候に影響されにくく生産供給が安定している。日本へ輸入されるパームオイルの7割以上が食品として、3割未満が工業用に利用されている。その輸入されるパームオイルのほとんどはマレーシア国産であり、マレーシアとインドネシアの合計生産量は世界生産量の約8割を占めている⁴⁾。マレーシア国内においても、サバ州はプランテーション面積の割合が多い。かつては、サバ州の主要産業として、木材産業が発展し経済成長した。しかしながら、過度の伐採より森林資源は枯渇へと向かい、徐々に木材産業は衰退した。1989年代終わりから1990年の初めにかけて大規模なパームオイルプランテーション会社が参入し、プランテーション産業が主流となっている。

こうしたパームのプランテーション開発によって野生動物の生息地域である熱帯雨林を破壊していることは、野生動物の生息地保護の観点からも世界的な問題として広く認識されている。しかしながら、野生動物や人間が生活する上で中心となるはずのキナバタンガン川へ与えている影響についてはほとんど報告されていない。そこで本研究では、野生動物の宝庫であるキナバタンガン川の水質の現状と周囲に存在するプランテーションの状況について現地調査を行い、その結果からプランテーション開発が河川水質へ与える影響について考察した。

2. 試料と方法

2.1 現地測定と採水

2010年8月23日～29日及び2011年8月18日～

28日の2期間、サバ州バトゥプティ (Batu puteh) 地域周辺において、キナバタンガン川 (Sg. Kinabatangan) 本流1地点 (M1)、その地点よりも上流にある支流のピン川 (Sg. Pin) 2地点 (B1及びB2)、下流にある支流のタカラ川 (Sg. Takala) 2地点 (B3及びB4)、プランテーション内を流れる小川や排水路3地点 (P1～3) の計8地点において採水及び現地観測を行った (図2)。ピン川の上流域には大規模なプランテーションが存在し、一部プランテーション内を流れている。その側溝を流れるプランテーション排水 (P1) とプランテーション内を横切る小川の水 (P2) について採水及び現地観測した。また、タカラ川上流部にもプランテーションが存在している。さらに、キナバタンガン川から数キロメートル離れたプランテーション内にて、内部を流れる小川の水 (P3) について採水及び現地観測した。尚、この地域周辺は複数の村が存在し、エコツアーやホームステイなどで収入を得ているため、多くの観光客に向けたレクリエーション施設がある。

現地観測では、コンパクト pH メーター (B-212, 堀場製作所)、ハンディ DO メーター (F-102, 飯島電子工業株式会社)、電気伝導度計 (ES-51, 堀場製作所) を用いて測定した。尚、水温は DO メーターで得られる値を使用した。水試料は、ボートより各地点の表層水を 100 mL ポリ瓶へ直接採取した。この際、ポリ瓶は調査地点の水で3回の共洗いを行なった後、容器内を試料水で満たした。採水後、シリジ用アセテートフィルター (ザルトリウスステディムジャパン, 孔径 0.2 μm) を用いて現地で濾過した。

2.2 方法

ろ過後の試料水について、デジタルパックテスト

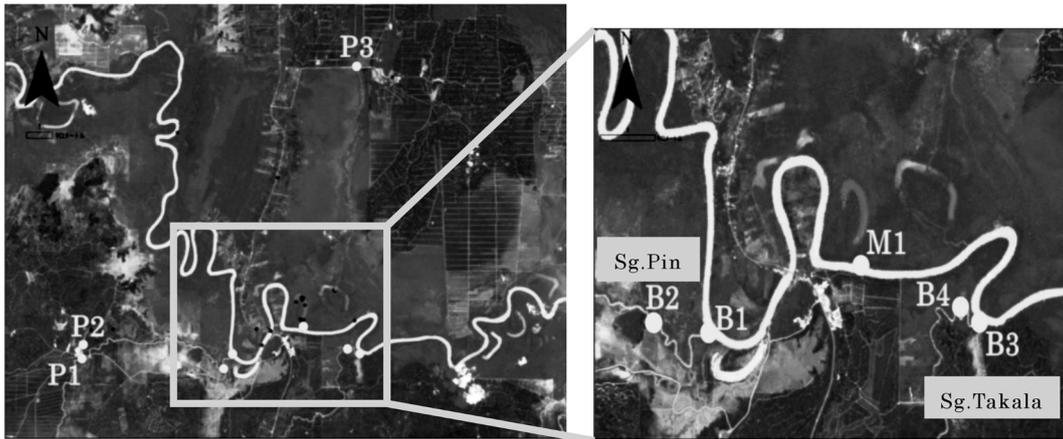


図2 採水および現地観測地点

(L-9000M, Kyoritsu Chemical Check-Lab.) を用い、化学的酸素要求量 (COD)、アンモニア態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$)、亜硝酸態窒素 ($\text{NO}_2\text{-N}$)、硝酸態窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$)、全硬度 (TH) を現地で測定した。さらに、研究室に持ち帰った水試料について、イオンクロマトグラフによる各種イオン類を測定した。陽イオン類 (Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) と炭酸水素イオン (HCO_3^-) は島津製作所製 PIA-1000, 陰イオン類 (SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^-) は DIONEX 社製 IC20 を用いて測定した⁷⁾。

3. 結果と考察

3.1 キナバタンガン川本流の水質

キナバタンガン川本流の水質を調べるために、2011年8月18日から27日にかけての毎朝8時30分、バトゥプティ地域にあるレクリエーション施設 (KOPEL) の船着き場において、定点水質観測を実施した。pH 及び電気伝導度 (EC) は表層水のみであるが、溶存酸素 (DO) 及び水温については表層、中層、底層を測定した (図3)。尚、8月26日は調査

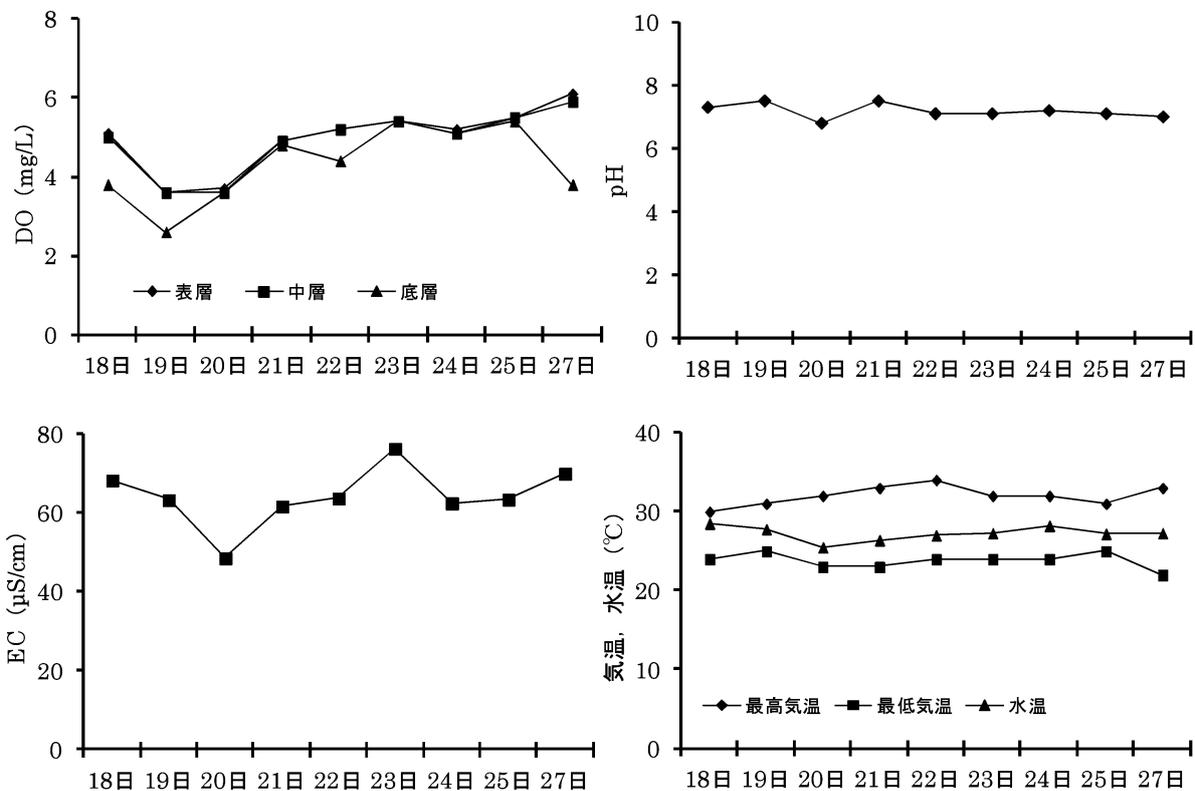


図3 キナバタンガン川本流での水質観測の結果 (2011年8月)

地移動のため、観測出来なかった。

調査期間中、雨季のため毎晩スコールが降り続き、河川水量は日によって大きく異なったにもかかわらず、気温や水温はほぼ毎日安定した値を示した。pHも6.8~7.5と大きな変化は見られなかった。そのため、これらの項目は降水量や天候などの気象要因による著しい影響を受けないことが示された。一方、DOには値の変化が見られた。時系列的な変化は見られるものの、表層と中層のDOはほぼ同じ値を示した。しかしながら、底層のDOは表層や中層と比較するとかなり低い値を示した。特に、8月19日は3 mg/L以下の特に低いDO値を示した。このことから、キナバタンガン川の底層部では比較的低酸素な状態が起これることが示された。マレーシアの水質環境基準(表1, Malaysia Environmental Quality Report (1997))と比較すると、特にDO値の低かった8月19日と8月20日は飲料水用とするためには必ず処理が必要であるClass IIIに匹敵するほど値は低く、低酸素状態であった。マレーシアのよ

うな熱帯地域では、流域から供給される有機物量が多く、また気温や水温が日本に比べて比較的高いことにより好気性微生物の活性化も高く、有機物分解をする際の酸素消費量が多いため低DO値を示したと考えられた。EC値は、8月20日に最も低い数値(48.5 μS/cm)が検出され、8月23日に最も高い数値(76.3 μS/cm)が観測された。これは、広範囲に渡り毎晩スコールが降ったため、水量が増え希釈効果が起こることでEC値が下がったものと考えられる。ところがEC値が最も高かった8月23日のイオン組成を見ると、他日のものよりもCl⁻濃度が圧倒的に高く検出された(図4)。このことから、上流部に存在する支流の水や生活排水などがあふれて流出し、本流へ大量に流れ込むことでEC値が高くなったと考えられた。

3.2 プランテーション内の排水や小川の水質

表2にプランテーション内の排水や小川における水質観測結果をまとめて示し、また各種イオン類濃

表1 マレーシアにおける水質の環境基準

Class	適用	NH4-N mg/L	BOD mg/L	COD mg/L	DO mg/L	pH	EC μmhos/cm	濁度 NTU	全大腸菌 MNP/100 mL	硬度 mg/L
I	飲料水用I: 自然環境の保全	0.1	1	10	7	6.5~8.5	1000	5	10	N
IIA	飲料水用II: 簡易的な処理が必要	0.3	3	25	5~7	6.5~9.0	1000	50	100	100
IIB	レクリエーション用	0.3	3	25	5~7	6.5~9.0	—	50	400	NR
III	飲料水用III: 完全な処理が必要	0.9	6	50	3~5	5~9	—	150	5000	—
IV	灌漑用	2.7	12	100	3	5~9	6000	300	5000	—
V	上記以外	2.7	12	100	1	—	—	300	—	—

N: 自然状態, NR: 推奨値なし

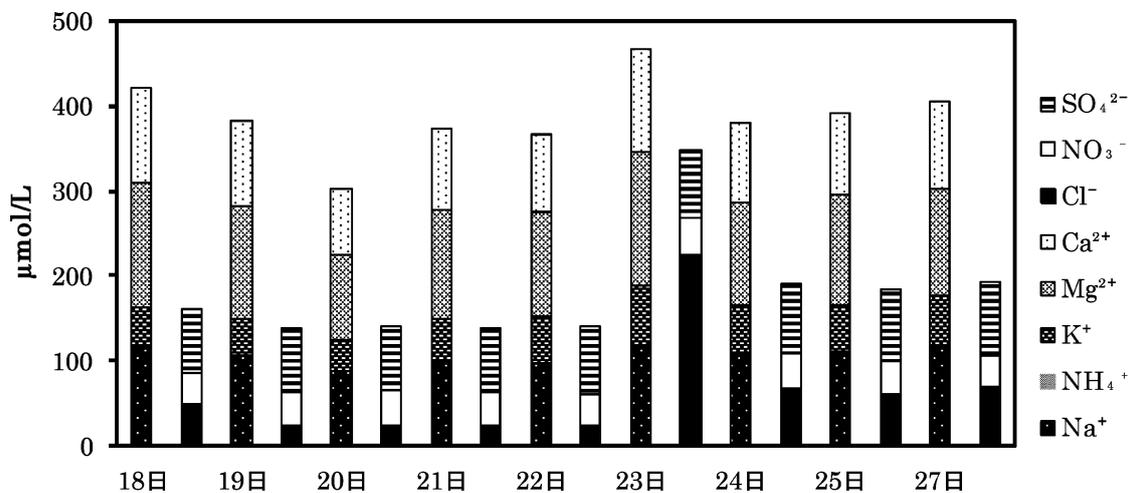


図4 キナバタンガン川本流での各種イオン濃度の比較

度を図5に示した。調査対象となったプランテーションは、バトuppティ周辺地域において最も大規模なプランテーションの一つである。敷地内には採取したアブラヤシを加工し油を採取する工場も存在し、従業員の家族が住む住居も併設されている。また、ニワトリやウシなどの家畜、犬や猫などのペットもプランテーション内で見かけられた。アブラヤシは定期的に等間隔に植えられており、十分に成長しきったヤシは地面ごと掘り起こし伐採されていた。このとき、新しいアブラヤシ苗木を植えるまでには数年間の間隔が必要であるため、空き地になっている場所も敷地内に多く見られた。

バトuppティ地域から北東に位置するプランテーション内を流れる支流 P1 は、水量が多く流れは穏やかだったが、南西に位置するプランテーション内を流れる支流 P3 の水量は多く、流れも急であった。pH は、どの調査地点においても、また調査年が変わっても大きな差は見られなかったが、P2 では調査

年によって値の変化が見られた。これは、排水に含まれる肥料などが大きく影響しているものと考えられた。

DO 値を見ると P2 及び P3 地点において両調査年ともに低く、特に 2010 年 P2 地点での値は 0.0 mg/L であった。この値は、マレーシアの水質基準と比較すると、最低クラスである Class V に相当した(表 1)。このような無酸素状態は水生生物が生息するには適していないとされ、実際にこの調査地点周辺において水生生物について目視では確認できなかった。一般的に、水生生物は DO の低下によって呼吸が阻害され窒息死する⁸⁾。この DO 値が低いのは、好気性微生物による著しい有機物分解が起きているからだと考えられる。このときの有機物はアブラヤシの葉など、プランテーションにおいて刈り落とされた葉であると推定される。アブラヤシ植え替え時の廃棄物として、年間 500 万トンの幹と 100 万トンもの茎葉がマレーシア国内では産出されていることが報告されている⁹⁾。2011 年に観測した結果、2.3 mg/L とやや回復した値が見られた。これは、スコールにより採水期間中に多くの降水が見られたことから、排水路の水量が増加することで水の流れが出来ることで空気混合が促進されて溶存酸素濃度が増加したと推測された。実際、2010 年の調査では全く流れがなく水溜りのようであったが、2011 年は流れる様子が確認された。他の場所において DO の値、ほぼ変化が見られなかった。

各調査地点の EC 値をキナバタンガン川本流 M1 の値と比較すると、数~数十倍以上の高い値が示した。特に P2 地点では、2011 年に 2,360 μS/cm とキ

表 2 プランテーションの小川、排水及びキナバタンガン川本流の水質比較

地点	調査年	水温 ℃	pH	EC μS/cm	DO mg/L
P1	2010	30.9	7.6	223	5.8
	2011	26.5	6.9	165	5.8
P2	2010	33.4	6.6	708	0.0
	2011	26.7	7.7	2360	2.3
P3	2010	28.4	7.2	411	3.7
	2011	27.3	6.8	324	2.7
M1	2010	28.3	7.2	67	5.2
	2011	26.7	6.8	66	5.3

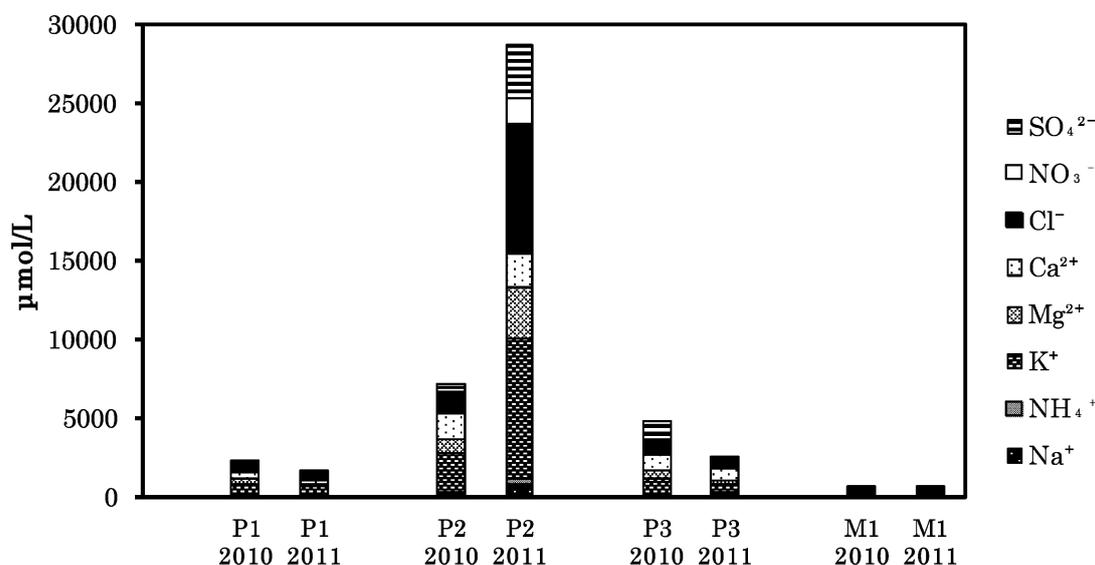


図 5 プランテーション内排水や小川とキナバタンガン川本流における各種イオン類濃度の比較

ナバタンガン本流の値よりも約 35 倍高い値であった。これを反映して、P1 及び P3 地点と比べて、2011 年の P2 地点では各種イオン類は高濃度で含まれていた(図 5)。2011 年の調査では、現地の排水水量が多かったことから、降水によりイオン成分濃度は希釈されているのではないかと予想されたが、結果はむしろ逆に高い値であった。このことは、溶存酸素は流れができることで回復されるものの、イオン成分は周辺域から溶け込みが著しくなり、むしろ濃度を高める効果があることを反映している。よって、パームプランテーションによる開発によって、イオン成分の流出が促進される影響が示された。イオン成分を比較すると、2011 年の P1 地点において唯一アンモニウムイオン (NH_4^+) が検出された。これらのことから、2011 年の調査日には雨水によってプランテーション内に生活する住民の生活排水も一緒に流出されているのではないかと推定された。こうした家庭からの排水流出は、大規模なプランテーションの中に多数あるため、水質に影響を与えるかなり深刻な要因となりうる。

3.3 支流と本流の水質比較

表 3 に各支流における水質観測結果をまとめて示し、各種イオン類濃度を図 6 に示した。支流ピン川の B1 及び B2 地点の上流域には、プランテーション内の排水や小川である P1 及び P2 地点がある。また支流タカラ川の B3 と B4 地点の上流部にもプランテーションが広がっている。2010 年及び 2011 年の調査結果を本流の水質と比較した。

pH は、ほぼ一定であり、年変動は見られなかつ

た。一方 DO は、B4 地点で低く、環境基準と比較しても Class IV 以下であることが示された。この地点は、非常に水量が少なく、ほとんど流れがなかったことから、有機物分解の際における酸素消費量が顕著であることに加え、酸素の溶け込みが少ないことが低 DO の原因と考えられた。しかしながら、いずれの調査地点も DO 値は、キナバタンガン川本流である M1 と比較すると低かった。特に B4 地点など変動は見られるが、常に本流よりも DO 値は低く、水生生物などに影響していると予想された。これは、プランテーションからの DO 値の低い排水の流出や有機物流出量が多いことで、支流の DO 値も下がったものと考えられた。EC 値は、B3 地点の 2011 年の結果を除き、本流の M1 地点よりも高い値を示した。また、EC 値は調査年によって年変動が著しく変化した。特に、B1 では、2010 年に $516 \mu\text{S}/\text{cm}$ だったが、2011 年には $197 \mu\text{S}/\text{cm}$ と顕著に下がっていた。

表 3 キナバタンガン川支流及び本流の水質比較

地点	調査年	水温 ℃	pH	EC $\mu\text{S}/\text{cm}$	DO mg/L
B1	2010	28.1	7.7	516	3.3
	2011	28.3	7.0	149	5.1
B2	2010	28.2	7.5	348	5.0
	2011	29.3	7.3	201	6.2
B3	2010	26.0	7.0	257	4.0
	2011	28.9	6.8	65	3.7
B4	2010	28.0	7.2	260	2.0
	2011	28.5	7.1	201	2.5
M1	2010	28.3	7.2	67	5.2
	2011	26.7	6.8	66	5.3

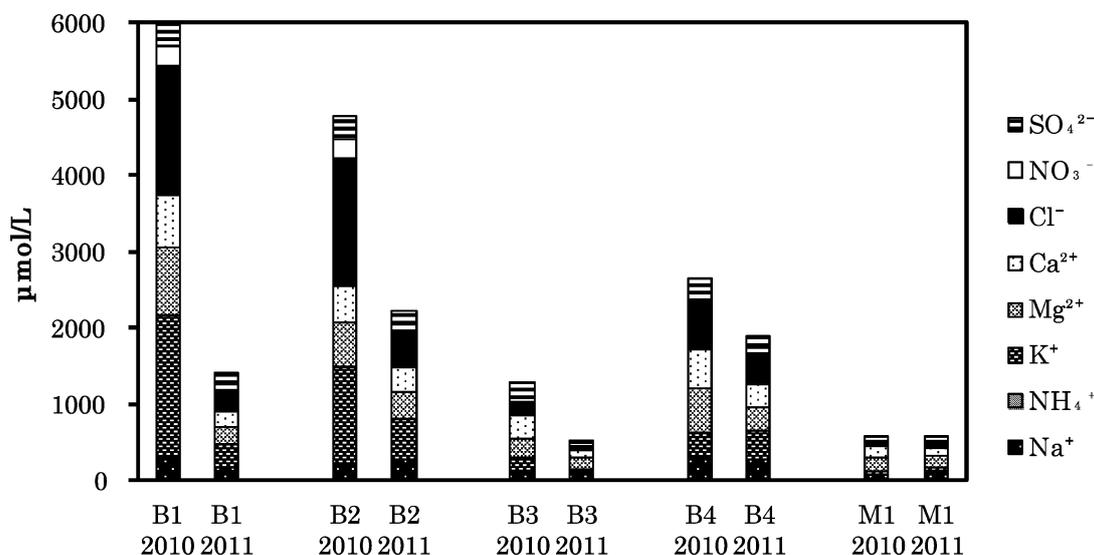


図 6 プランテーション内排水や小川とキナバタンガン川本流における各種イオン類濃度の比較

2011年には水量が増えたことと、2010年にプランテーションから排水などが流出していた可能性が挙げられる。一方、B4地点では、あまり大きな年変化は見られず雨量やプランテーション排水の影響がないと考えられる。イオン成分を比較しても、2011年は非常にイオン成分が低い数値となっていることが明らかとなった。

4. ま と め

2010年及び2011年8月の2回に及ぶキナバタンガン川流域での水質調査の結果、パームプランテーション開発や敷地内の住宅の設置による有機物成分やイオン成分の流出が促進されており、キナバタンガン支流の水質を著しく悪化させていることが明らかとなった。一方でキナバタンガン川本流は水量が豊富であるため、支流による水質の影響は起こりにくいと考えられた。

現地では、降水による影響として、プランテーション排水の水量増加が確認された。工場によっては大規模な排水の貯水池が設けられており、一部の排水については処理が行われていたが、多くの排水処理についてはなされていなかった。最終的にその排水は、キナバタンガン川に直接流れ込んでいた。その結果、キナバタンガン川本流に比べて、プランテーション内を流れる排水や小川などでEC値や各種イオン濃度は著しく高かったことから、排水の流出を明確に示した。また、プランテーション内からの排水が流れ込む支流においても、本流と比べECや各種イオン濃度は圧倒的に高く、排水は支流の水質に顕著な影響を与えていた。

キナバタンガン川本流は、支流と比較するとECやイオン濃度は低く検出された。前述するように、支流の汚染は深刻であったが、本流は水量が多いため希釈効果によって支流よりも汚染は深刻ではないと見られる。しかし、プランテーション排水のようにDO値がゼロと低酸素状態の排水が流れ込むことで、キナバタンガン川の水生生物に悪影響を与えている可能性が考えられた。

キナバタンガン川流域は、雨量や調査年による違いが顕著に見られたことから、継続的な水質調査が求められる。また、プランテーションから出る排水がキナバタンガン川の水質汚染に影響しているため、汚染物質を流出させない取り組みが重要であると考える。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、調査に同行して頂くなどの多大なご協力を頂いたJukrana Rosli様をはじめとするKOPELの皆様やバトゥプティ地域住民の方々、水質化学研究室の皆様、この場を借りて厚く御礼申し上げます。ありがとうございました。尚、本研究は2010年度酪農学園大学・酪農学園大学短期大学部共同研究の助成（採択No.8、研究課題名：マレーシアボルネオ島キナバタンガン川流域における水質及び生物多様性保全と環境と共生した地域開発に関する研究）を受けたものである。

引用文献

- 1) サバ州政府観光局オフィシャルサイト, www.sabahtourism.com/jp/ (平成24年11月時点).
- 2) BBEC フェーズ2, www.bbec.sabah.gov.my/japanese/ (平成24年11月時点).
- 3) American Palm Oil Council (2010) Palm oil development and performance in Malaysia, <http://www.americanpalmoil.com/pdf/USITCpre-PublicHearing-V2.pdf> (平成24年11月時点).
- 4) 高多理吉 (2008) マレーシア・パーム油産業の発展と現代的課題, 国際貿易と投資, **74**, 26-40.
- 5) 松良俊明 (2011) 熱帯雨林の消失とアブラヤシ・プランテーション——マレーシアでの経験から——, 京都教育大学環境教育研究年報, **19**, 57-69.
- 6) 水野寿彦 (1977) 東南アジアにおける陸水の研究, 東南アジア研究, **14**, 593-610.
- 7) 中谷暢丈, 永田啓介, 渡邊泰平, 加藤勲, 田中一彦 (2011) 硝酸性窒素に汚染された美々川源流部湧水群の水質特性と汚染源の推定, 「一酪農学徒として考えてきたこと 中原准一教授退職記念論文集」, pp.113-120, 北海道リハビリー, 札幌.
- 8) 田中祥人, 山田浩之 (2011) 北海道北部の酪農地域における人工湿地処理水が流入する小河川の水環境と生物相, 応用生態工学, **14**, 91-101.
- 9) 芝田正志, バーマン マヘンドラ, 東野陽介, 宮藤久士, 坂志朗 (2008) アブラヤシの化学成分組成分析, 日本エネルギー学会誌, **87**, 383-388.

Summary

The Lower Kinabatangan-Segama Wetlands, Sabah's first and Malaysia's largest Ramsar site, is an

internationally important area for its undisturbed ecosystem containing a number of rare, endangered and threatened wildlife species. Therefore, the comprehensive conservation and management are important for not only this site but also the upper river basin, where oil palm plantation spread over a wide area. In present study, we investigated the effect of the palm plantation on the water quality of the Kinabatangan River in August 2010 and 2011. Concentrations of dissolved oxygen in wastewater and in water of small stream collected in the plantation were much lower than that in the main river. These results show that the organic materials from the plantation decompose remarkably in their water. It also suggests that the wastewater from the plantation affects the water quality of tributary of the Kinabatangan River. It was observed that electrical conductivity and the concentration of ionic species in wastewater and in water of small stream collected from the plantation were much larger than that of the main river. These results suggest that the effluents of ionic species were promoted by the palm plantation. It is concluded that the wastewater from the palm plantation should be adequately treated before flowing into the river to reduce the pollutants including organic materials and ionic species.