

トンレサップ湖の環境と水資源に関する 調査報告

A REPORT ON THE ENVIRONMENT AND WATER RESOURCES OF LAKE TONLE SAP.

松井三郎^{*} ・ 川口英之^{**} ・ 土井敦^{***} ・ 松田知成^{*}
Saburo MATSUI, Hideyuki KAWAGUCHI, Atsushi DOI, Tomonari MATSUDA

ABSTRACT; Lake Tonle Sap in Cambodia, is a tributary of the Mekong River and plays an important role of reservoir in the rainy season. This Lake, placed in center of Cambodia, has been bases of various industries such as agriculture, fishery, and transportation. Because forestry and agriculture around the lake have been over exploited randomly during the long term war, sedimentation and eutrophication of the lake become serious conditions and the fishery has been endangered. This time we researched on (1) water quality, (2) fishery, (3) forest community and analyzed the environment and water resources.

KEYWORDS; Lake Tonle Sap, The Mekong River, water quality, fishery, forest community

1. トンレサップ湖とメコン河の水質環境に関する調査

1. 1 調査方法

全体の水質調査地点を示す図1-1とプノンペン周辺図1-2を示す。地点ごとの表層水の水温、pH、伝導度、濁度（NTU）、濁度（カオリン）、溶存酸素濃度（ホリバ製による携帯測定器による測定）及び、磷酸態リン、アンモニア、亜硝酸、硝酸の項目（セントラル科学携帯型富栄養計HC1000による測定）またアルミニウム、2価鉄、珪酸、過マンガン酸COD（バックテストによる簡易測定）を行いまとめて表1-1に示す。また、水深方向の温度、pH、濁度、溶存酸素濃度を図1-3に示した。

1. 2 メコン河とトンレサップ川の水質

メコン-トンレサップ水系は雨期と乾期でその様相をがらりと変える。乾期の真最中には、メコン河及びトンレサップ川の水位は約2mで、水流はトンレサップ湖からメコン河に向かって流れているが、雨期には水位が8m以上にもなり、とうとうたる濁流がメコン河からトンレサップ川に逆流する。

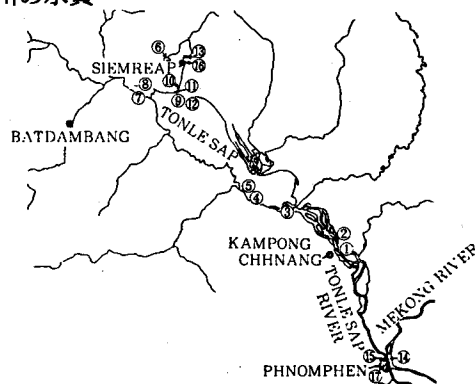


図1-1 Sampling Stations in Lake Tonle Sap and the Mekong River

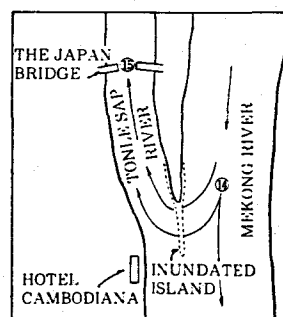


図1-2 Sampling Stations around Phnomphen

*;京都大学工学部附属環境微量汚染制御実験施設 Lab. for Control of Environmental Micropollutants, Kyoto Univ., **;京都大学農学部林学科森林生態学 Lab. of Forest Ecology, Fac. of Agriculture Kyoto Univ., ***;東京水産大学魚類学 Lab. of Ichthyology Tokyo Univ. of Fisheries

表 1 - 1 Water Quality of Tonle Sap and its Surrounding areas (6 ~ 11 Sept. 1992)

POINT	DATE	TIME	WEATHER	TEMP.	pH	COND.	TURB.	TURB.	DO	PO ₄	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	Al	Fe ⁺⁺	SiO ₂	COD
Sept.				(°C)		(mS/cm)	(NTU)	(KAOLIN)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
1	6	14:45	FINE	29.3	7.12	0.069	134	82	5.43	0.03	0.06	0.009	0.13	0.5	<0.2	3	7
2	6	15:35	FINE	28.9	7.15	0.069	143	88	5.33	0.03	0.09	0.008	0.16	0.4	<0.2	2	7
3	7	10:50	FINE	28.8	7.04	0.070	100	62	4.69	0.08	0.05	0.009	0.11	0.4	<0.2	3	20
4	7	12:55	FINE	30.4	7.33	0.087	54	33	6.90	0.30	0.05	0.009	0.07	0.35	<0.2	4	6
5	7	16:15	AFTER SQUALL	29.3	7.21	0.081	70	43	5.14	0.04	0.08	0.011	0.11	0.4	<0.2	3	3
6	9	11:30	FINE	30.9	7.62	0.020	63	39	6.81	3.15	0.42	0.008	0.02	0.4	<0.2	<2	18
7	10	9:20	FINE	28.9	8.11	0.121	40	25	6.04	1.20	0.04	0.005	0.03	0.4	<0.2	<2	7
8	10	10:30	FINE	29.8	8.70	0.125	57	35	7.65	0.04	0.03	0.005	0.02	0.4	<0.2	<2	6
9	10	12:00	FINE	30.4	8.60	0.123	60	37	8.82	0.05	0.04	0.011	0.05	0.4	<0.2	<2	10
10	10	13:50	FINE	31.4	6.70	0.098	42	26	3.98	0.03	0.09	0.006	0.04	0.4	<0.2	7	20
11	10	14:10	FINE	30.9	6.88	0.119	20	12	4.39								
12	10	15:00	FINE	30.7	7.70	0.096	126	78	7.54	0.10	0.16	0.007	0.22	0.4	<0.2	3	20
13	10	16:48	FINE	29.6	5.40	0.020	36	22	5.98	0.64	0.23	0.008	0.04	0.2	<0.2	12	30
14	11	11:20	FINE	29.4	7.50	0.083	155	95	6.05	0.77	0.01	0.009	0.18	0.4	<0.2	5	13
15	11	11:47	FINE	29.4	7.47	0.084	140	86	6.44	1.08	0.13	0.010	0.16	0.4	<0.2	5	15
16	11	6:30	FINE	28.2	6.45	0.712	3.5	2	2.38	0.28	0.01	0.028	5.95	0.4	<0.2	10	3
17	11	16:00	FINE	27.9	7.54	0.137	17	10	7.50	3.30	0.08	0.011	0.20	0.4	<0.2	10	2

図 1 - 2 にメコン河とトンレサップ川の合流点に砂州が発達している様子を示したが、乾期水深が低下したとき、砂州が壁となって舟運と魚の回遊の妨げとなるので、浚渫の要望が出されている。今回の水深方向の濁度測定から（図 1 - 3、地点 14 及び 15）メコン河は水深が 2 m 以上深くなると高い濃度の濁度流が存在していること、及びサップ川の全水深濁度とメコン河の表層濁度が一致している事が観察された。即ちメコン河の表層の部分が合流点で砂州の上を越流してサップ川となっている。従って、砂州の浚渫方法を工夫すれば、サップ川に逆流する濁度を低下することができ、ひいては、トンレサップ湖に流入する濁度を軽減できる可能性がある。

メコン河の水質が基本となってサップ川、トンレサップ湖の水質を構成しているが、メコン河の水質からして既に富栄養化の傾向がみられる。地点 14 におけるアンモニア性、亜硝酸性、硝酸性窒素の濃度は、それぞれ琵琶湖南湖の年平均値の約 0.2 倍、3 倍、1.5 倍と高く、磷酸イオン濃度に至っては琵琶湖南湖の約 128 倍である。COD は琵琶湖南湖の約 3 倍である。サップ川に入って地点 15、北に上がってコンボンチュナム近辺（地点 1、2）、さらに北の河口部（地点 3）でも磷酸イオン濃度、アンモニア性窒素濃度などにわずかに減少の傾向がみられたもののメコン川とほぼ同様の水質が得られた。このことから、雨期のトンレサップ湖にはメコン河由来の濁質（粘土質）及び栄養塩類が大量に流入していることがわかる。

1. 3 トンレサップ湖の水質

トンレサップ湖南部のコンボンルアン周辺（地点 4、5）、及び北部のシエムリエップ市沖（地点 9、12）で調査をした結果、南部と北部の水質にはそれほど大きな差は見られず、ともに富栄養の状態にあることがわかった。

トンレサップ湖に入ると、流入河川がもたらす大量の土砂が一部沈澱し、若干水に透明感が出て来る。そのため水中への太陽光の透過が容易になり、植物プランクトンの光合成が活発になり、湖水は緑色を帯びている。豊富な栄養塩、熱帯の高い気温と強烈な太陽光など、トンレサップ湖には植物プランクトンや底生藻類の生育に必要な条件がすべて整っている。仮にトンレサップ湖から濁質成分を大幅に除去したとすると、

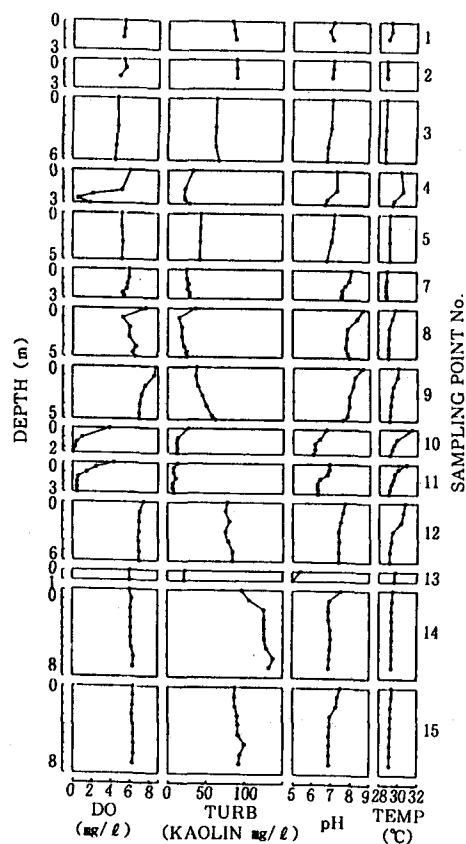


図 1 - 3 Water Quality of Tonle Sap and its Surrounding areas (6 - 11 Sept. 1992)

この湖はたちまちのうちに植物プランクトンと藻類で埋めつくされてしまうだろう。乾期舟運を行うためにトンレサップ湖入口部分の浚渫の要望が出されているが、これには慎重な配慮が必要である。舟運のこのことを考えて水路を深く掘り過ぎると、湖の乾期水深（0.5－0.8 m程度）が現在より急速に低下し、周辺の重要産業資源である魚類の流出や場合によっては水深低下にともなう魚の大量死にもつながるからである。

1. 4 シエムリエップ地域の水質

シエムリエップ川はシエムリエップ市内を流れてトンレサップ湖に注ぐ。市内のほとんどの人はこの川で水浴びや洗濯をする。河口付近ではさらにトイレ、調理、飲料用など、ほとんどあらゆる用途に使用されている。この川の水質を、河口付近（地点10, 11）と市内ダムナ寺院の石橋付近（地点13）でそれぞれ調査した。河口付近の水質はかなり悪く、CODが高く、水は黒色を呈しており、水深2 mでの溶存酸素濃度はほとんど0であった。これは、周囲の住民の排泄物や食べかすなどの有機物が、湖底で腐敗しているためであると考えられる。シエムリエップ市内の地点13では、COD、アンモニア性窒素、珪酸などの調査項目で高い値を示した。またpH5という顕著な酸性を示した。このことは白石芳一氏による1965年の調査¹⁾でもほぼ同様の値が得られており、人為的原因よりも地質学的原因と考えられる。

シエムリエップ市内の井戸水（地点16）の水質を調べたところ硝酸イオン濃度が異常に高いことが観察された。浅井戸であることから地表の農業肥料や住民のし尿由来の窒素と推定される。硝酸態窒素の濃度が高いので、乳児に対する危険性が懸念される。

1. 5 プノンベン水道水質

プノンベン市内の水道水の水質を調査した（地点17）。日本の水道水質基準と比較すると、亜硝酸、硝酸性窒素、COD、pHなどの項目ではまったく問題はなかった。ただし濁度が日本の基準値である2を超えていたことと、水質基準にはないが、磷酸イオン濃度が異常に高いことが観測され、調査できなかった細菌等の安全性については、処理水準からみて市民の健康に対する影響が懸念される。

2. トンレサップ水域の魚類相

2. 1 調査時期及び調査地点

1992年

9月6日 Kampong Chunang の南東約 5Kmの Tonle Sap 河の氾濫原：St. A

Kampong Chunang の Tonle Sap 河の氾濫原：St. B

9月7日 Kampong Chunang の北西約 8Kmの Tonle Sap 河の氾濫原：St. C

Tonle Sap 湖, Kampong Luang : St. D

9月8日 Tonle Sap 湖, Chhhuk Tru : St. E

Phnum Penh の北西約 10Kmの Tonle Sap 河：St. F

9月9日 Barai 貯水池に接続する用水路, Siem Reap : St. G

9月10日 Siem Reap の Tonle Sap 湖の氾濫原：St. H

Siem Reap の市場：St. I

2. 2 調査の方法

魚類採集に当たっては、河及び湖で漁（刺し網、抄い籠）を行っている漁場、市場での購入と、氾濫原でのスクープネットでの採集により行った。

採集した魚類は10%希釈ホルマリンで固定し、日本に持ち帰ったのち、同定を行った。

2. 3 調査結果及び考察

(A) 魚類相

本調査の期間中に採集された魚類は19科69種で（表2－1）、過去のフランス統治時代に調査され発表された文献では47 科 215種の淡水魚が報告されている^{2) - 7)}。しかし、今回のごく短時間の調査においてすら、

表2-1. 採集魚種目録

これまでに報告がなかった6種 (*Cyclocheilichthys heteronema*, *Esomus*

goddardi, *Rasbora retorodorsalis*, *Tuberoschistura baenzigeri*,

Mystus rhegma) が採集されており,

この水域の魚類相研究の貧弱性を物語っている。またトンレサップ湖周

辺では、近年有用魚種が減少しているといわれているが(表2-2,

Chrang Cham 水産試験場長 Khath Sohkon 氏による)、減少を裏付け

る具体的なデータはない。このように、トンレサップ水域を含むカンボ

ジアの淡水魚類については調査研究が大幅に立ち後れており、魚類保護

対策を考える上で弱点になっている。

(B) トンレサップ水域の魚類生産性

トンレサップ湖周辺の湿地林地帯

(浸水林, forests inondees) は、雨

期にメコン河産の魚類の重要な産卵場所となり稚魚の育成場となって、こ

の水域の魚類生産を支えていることが Chevey によって力説されてきたが⁵⁾、

今回の採集でも、稚魚は湿地林中の地点 (St. A, B, C) のみで採集されて

おり(表2-3)、このことを裏付けている。

従来、トンレサップ湖は単位面積あたりの魚類生産量が大きいことで知られてきた。この高生産性は、メコンから湖内に移動する河川魚群によってもたされるものであり、他方、付近のメコン水系の魚類資源量は、産卵場・育成場としてのトンレサップ湖によって維持されるわけである。トンレサップ湖入口と、メコン河とトンレサップ川の合流点砂州の浚渫計画が上がっているが、魚類の回遊に大きな影響があることが懸念されるため、短兵急に工事着工をする事は危険で、基礎的魚類生態を含む十分な事前調査が必要であると考えられる。

表2-2 Tonle Sap 水域で減少した魚種

科	種名
CLUPEIDAE	<i>Tenulosa thibuaudeaui</i>
CYPRINIDAE	<i>Leptobarbus hoeveni</i> <i>Mehonginia reythropsila</i> <i>Morulius chrysophakadion</i> <i>Probarbus jullieni</i> <i>Puntioplites bulu</i>
PANGASIIDAE	<i>Pansasianodon gigas</i>
SISORIDAE	<i>Bagarius sp.</i>
LOBOTIDAE	<i>Datonioides microlepis</i>

表2-3 採集稚魚目録

科	種名	採集地
Cyprinidae (コイ科)		
	<i>Letobarbus hoeveni</i>	B
	<i>Lobocheilos sp.</i>	C
BELONIDAE (ダツ科)		
	<i>Xenentodon sp.</i>	C
CHANNIDAE (タイワンドジョウ科)		
	<i>Channa striata</i>	A
TETRAODONTIDAE (フグ科)		
	<i>Tetraodon sp.</i>	C

3. トンレサップ湖周辺の植生状況

今回、次の2点を目的として調査を行った。1) カンボジア国民にとって重要なタンパク源である魚の生息の場としての湿地植生の状態を把握し、今後の維持管理のための方法を検討する。2) トンレサップ湖周辺の森林あるいは田畑からの土砂の流入・堆積による生態系と水運への影響が指摘されていることから、集水域内の植生の状況と湖への土砂の流入状況を検討する。

トンレサップ川集水域の植生帯を大別すると、湖の増水の及ぶ範囲の湿地林やヨシ原などの湿地性の植生帯、そのまわりの水田帯、さらにそのまわりを取り囲む丘陵・山地に発達する森林帯に分けることができる(図3-1)。湿地性の植生帯は本来、Rang (*Barringtonia* sp.), Phtol (*Memecylon* sp.), Tros などの常緑樹種を主体とした樹高8m程度の常緑樹林が発達し、その前部や乾期にも水のある低い部分にヨシ原が入り込んだ状態であったと考えられる。しかし現在では、広い面積に常緑樹の大径木が残っているところは少なく、まばらにあるいは列状に大径木が残存している程度のところが多いとされている。これらの大径木のあいだを、背の低い再生林にうめっている。図3-2にシエムリエブとコンボンルアンにおける植生の断面図を示す。シエムリエブでは湖の中央に最も近い部分で Rang の大径木が残されていたが、コンボンルアンでは大径木はほとんど残っていなかった。また、コンボンルアンではヨシ原の発達が顕著であったがシエムリエブではあまり見られなかった。どちらの地域でも、増水の影響が及ぶところから水田地帯にかけての部分は植生の状態が貧弱で、わい性のとげ落葉樹とイネ科の草本がわずかに存在する程度であった。

湿地林の機能として、1) 魚のすみ場所・かくれ場所・産卵場所を提供する、2) 太陽光をさえぎり水温の上昇を防止する、3) 流速を軽減し魚の休息の場を提供すると共に土砂の沈降を促進することなどがあげられる。湿地林の持つこれらの機能のうち、魚の生息する場の提供と流速の軽減は現在の小規模な湿地林でも十分に役割を果たしていると考えられた。ただ、大径木が林立していた本来の状態に較べれば、小さな枝葉が混み合いすぎている状態にあるといえる。魚の生育にとってどのような状態が最も好適であるかは生態学的な方向からさらに検討を必要とする。水温の上昇に関しては、大径木が少ない現在の状態のほうが水面上における葉群の量が少なく、太陽光が水面に達し易いと考えられる。

今後の湿地林の維持管理について検討する。シエムリエブでは、再生林のなかに本来の優占種である高木性常緑樹種が多く混じっていた。今後これらの樹種を選択的に残して管理してゆけば、自然再生が十分に期待できる。シエムリエブではこれらの常緑樹の種子の散布や苗木の植林が積極的に行われていた。しかし、コンボンルアン周辺では、残存している常緑樹の大径木が少なく、更新している樹種も落葉樹のほうが多かった。このような高木性常緑種の母樹が少なくそのままでは稚樹の更新が望めないところでは、種子の散布や稚樹の植林により積極的に更新を進める努力が必要である。また、水田地帯までの間にみられる荒廃地は、



トンレサップ川集水域の植生の概略。
横線、縦線、点を施した部分はそれぞれ、
増水の影響を受ける湿地林と湿原、水田、
森林を表す。メコン委員会作成の土地利用図(1991)をもとに描く。

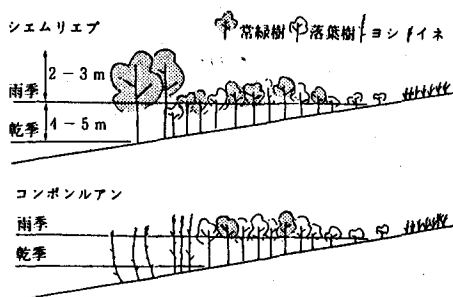


図3-1 コンボンルアンとシエムリエブにおける
植生の断面図。

年間を通じて最も水分条件の厳しく、再森林化が最もむずかしい部分と考えられるが、安易に急生長樹種による造林を行なったりせず、在来種を徐々に再生してゆくことが望まれる。

トンレサップ湖をとりまく丘陵部や山地部の森林植生は、常緑季節林と落葉季節林がモザイク状に入り交じった状態であったと考えられる。アンコールトムとアンコールワット周辺には大きなもので直径1 m 樹高30 m を越えるフタバガキ科の常緑樹やサルスベリなどの落葉樹からなる樹林が保護されている。しかし、周辺の森林植生が近年、伐採等により荒廃していることは、誰もが指摘するところである。周辺部の森林では伐採による蓄積量の減少と常緑樹の優占していた森林タイプから落葉樹の優占する森林タイプへの移行が進行していると考えられる。メコン委員会が作成した最近の土地利用図は森林の多くの部分が蓄積量の少ない落葉樹林により占められていることを示している。森林の落葉樹林化は雨期の始まりにおける土壌表面の浸食を促進し、湖への土砂の流入量を増加させる。また、森林の蓄積量の減少も森林の階層構造の単純化と葉量の減少を招き土壌の浸食量を増加させる。

メコン川からの濁水の逆流もトンレサップ湖への泥の供給源として大きな役割を果たしていることは明らかであるが、周辺部の森林からの土砂の流入量がさらに大きな寄与をしていることは、トンレサップ湖をとりまく湿地植生の幅が背後に控える集水域の大きさにほぼ比例して、湖の西部、中央部の北側、出口付近の北側で特に広いことから明らかである。また、飛行機からの観察で湖のくびれ部分の南部と北部や、湖の出口部分で河川からの新しい土砂の押しだしの様子をはっきりと見てとることができた。周辺の森林植生の状況は、大規模な焼き畑による森林の草地化が進行している隣国のタイほどではないという印象を受けたが、湖への土砂の流入量が増加していることは確実であると考えられる。

今後、カンボジアの復興に伴って木材需要の増加が予想されるが、土壌の浸食によるトンレサップ湖への土砂の流入の影響を考えた場合、伐採には注意深い配慮が必要である。土壌の浸食を最低限におさえ、森林資源を恒続的に利用できる伐採・更新方法の確立、および保安林の整備と管理体制の確立を早急に行うことが望まれる。さらに、森林地帯からの土砂をその場であるいは水田地帯の部分で沈降させて湿地林や湖への流入を物理的におさえる方策を構想する必要があるだろう。

4. 結論

(1) トンレサップ湖の沈泥化を防止することは大変困難であると考えられる。湖全体の浚渫は実行不可能で、部分的浚渫計画としてトンレサップ湖入口水路が考えられている。これも実行次第で乾期に湖からの水の流出を促進することになり、結果として魚類資源を失うことにもなる。計画を行うには魚類の専門家を含む綿密な事前調査が必要である。

(2) メコン河およびトンレサップ湖の窒素、リンの濃度が高く、条件により植物プランクトンの増殖（赤潮、アオコ発生）が急速に進むことが判断される。

(3) カンボジア国民にとって安全な飲料水確保が、人間的な生活を営む基本である。トンレサップ湖の乾期水質は、周辺住民や、水上生活者にとって極めて重要であるが、この問題解決に調査研究が必要であり、対策に資金も必要である。

(4) 山岳部の森林保護とトンレサップ湖周辺の植生保護を行い、土砂や粘土質の流入を防ぐことが沈泥化を防止する基本である。これは流域管理の基本である。その意味で、カンボジア復興計画は、メコン河およびトンレサップ湖の水資源、漁業資源、農業利用の長期計画を持つ必要がある。復興計画の調整がされないまま、水資源利用の個別計画を進めることは、後で環境全体を破壊することになる。農業、漁業部門が調整なしに復興計画をすすめることは特に危険である。

最後に今回の調査に当たり、支援戴いたプノンペン政府農業森林漁業省、共同して調査に当たった日本国際民間協力機関の小野修、了代氏、(財)国際湖沼環境委員会、(財)国際連絡技術協会に感謝します。

参考文献

- 1) 白石芳一「カンボジアの水産事情」報告書, 1965年
- 2) Chabanaud, P., 1926. Inventaire de la faune ichthyologique de l'Indochine. Premiere liste. Notes Serv. ocean. Peches Indoch., Nhatrang 1: 26 pp.
- 3) Chevey, P., 1932a. Poissons des campagnes du 'De Lanessan' (1925-1929). Mem. Inst. oceanogr. Indochine 4 : 155 pp.
- 4) Chevey, P., 1932b. Inventaire de la faune ichthyologique de l'Indochine. Notes Serv. oceanogr. Indochine 19: 31 pp.
- 5) Chevey, P., 1936. Le Grand Lac du Cambodge. Les causes profondes de sa richesse ichthyologique. Notes Inst. oceanogr. Indochine 29: 39-49
- 6) Durand, J., 1940. Notes sur quelques poissons d'espèces nouvelles ou peu connues des eaux douces cambodgiennes. Notes Inst. oceanogr. Indochine 36: 40pp
- 7) Kottelat, M., 1985b. Fresh-water fishes of Kampuchea. A provisory annotated check-list. Hydrobiologia, 121 : 249-279.