

2.6 水生生物調査

2.6.1 生物調査

(1) 生物調査の目的

一般に、水生生物の種組成はその場所の水質に応じて異なるため、水生生物は水質を評価する指標として用いられる。

本生物調査は、現地調査によって Mak Hiao 川の生物の現状を把握するとともに、調査結果をもとに生物と水質の関係を分析し、生物指標を作成することを目的とする。作成した生物指標は、水質モニタリングを補足するとともに、水環境を生態的観点から理解するのに活用できる。

(2) 調査の方法

(a) 調査地点

Mak Hiao 川流域において、表 2.6.1、図 2.6.1 に示す 14 調査地点を選定した。定期調査地点の B1-B9 は、生物と水質の関係を分析するため、水質のモニタリング地点と同じ場所に設定した。追加調査地点の B10-B14 は、市街地からの廃水の影響を受けていない自然の生物生息状況の把握を目的とし、Mak Hiao 川の上流の湿地に設定した。

表 2.6.1 生物調査地点一覧

Classification	Biological survey points	Correspondent water-quality monitoring points	Location
Regular survey points	B1	SP2	Downstream end of Nam Pasak (Upstream of Hong Xeng)
	B2	SP3	Downstream end of Hong Pasak
	B3	SP6	Downstream end of Hong Kai Keo
	B4	SP7	Midstream of Hong Ke
	B5	MP3	The Mak Hiao River
	B6	SP9	The Mak Hiao River
	B7	MP4	The Mak Hiao River
	B8	MP5	The Mak Hiao River
	B9	MP6	The Mak Hiao River
Additional survey points	B10	-	That Luang Marsh
	B11	-	That Luang Marsh
	B12	-	That Luang Marsh
	B13	-	That Luang Marsh
	B14	-	Upstream marsh of Nam Pasak

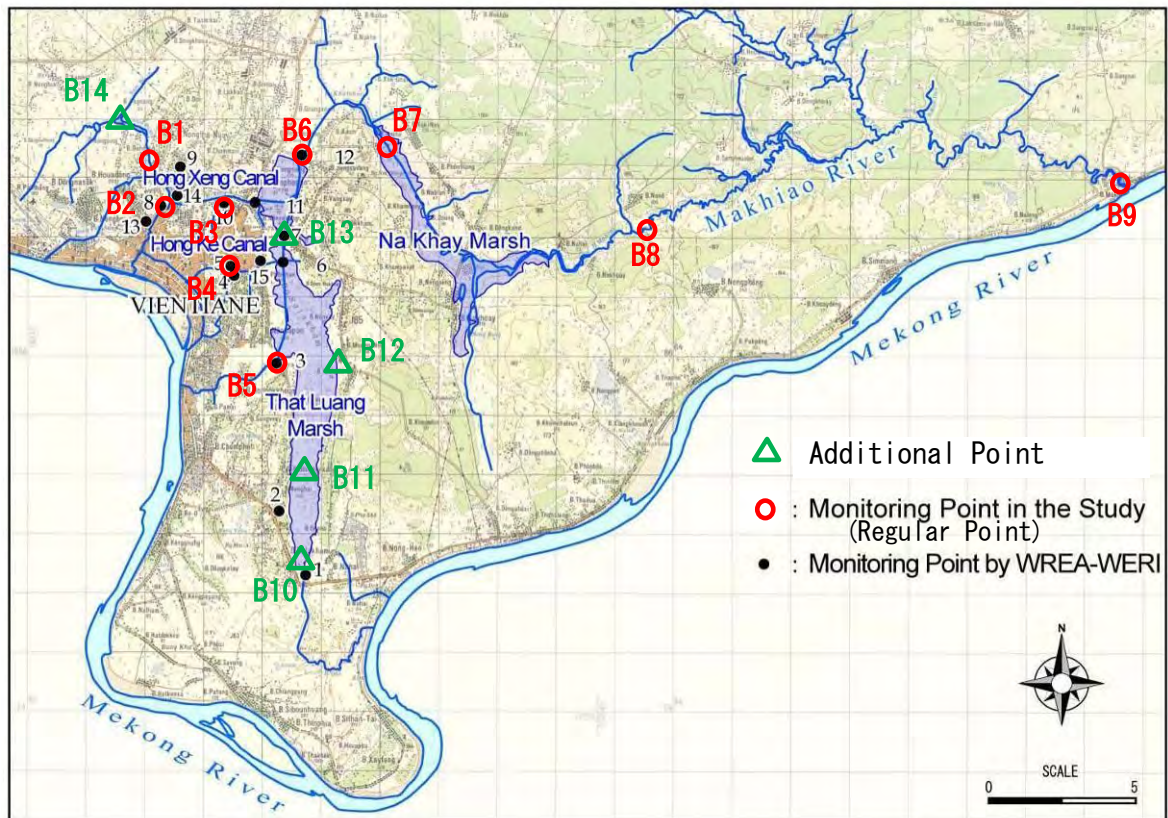


図 2.6.1 調査地点の位置

(b) 調査頻度

現地調査の頻度、実施日を表 2.6.2 および表 2.6.3 にそれぞれ示す。定期調査地点は毎回調査を実施し、追加調査地点については雨期、乾期それぞれ 1 回の実施とした。

表 2.6.2 生物調査の頻度

Month Year	Dry season				Rainy season						Dry season	
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2009		X	X				XX					X
2010	X	XX						X			X	

Note: X: only regular survey points, XX: both regular and additional survey point

表 2.6.3 現地調査実施日

Date	Season	Survey Points
13-15 February, 2009	Dry season	Regular points (B1-B9)
21-22 March, 2009	Dry season	Regular points (B1-B9)
15-17 July, 2009	Rainy season	Regular points (B1-B8)* and additional points (B10-B14) * B9 was not explored due to high water level.
14-15 December, 2009	Dry season	Regular points (B1-B9)
27-28 January, 2010	Dry season	Regular points (B1-B9)
26-28 February, 2010	Dry season	Regular points (B1-B9) and additional points (B10-B14)
16-17 August, 2010	Rainy season	Regular points (B1-B9)
26 and 29 November, 2010	Dry season	Regular points (B1-B9)

(c) 現地調査方法

i) 魚 類

各地点で観察された魚類の種名を記録した。観察は、タモ網、引き網、投網などの漁網を用いて行った。また、調査中に観察されたおおよその個体数について種ごとに記録した。漁業者が調査地点で漁をしていた場合には、捕獲された魚種を確認し、記録に加えた。

ii) 底生動物 (定量採集)

河床に生息する底生動物をネット付きコードラート(50cm × 50cm、目合 0.5mm)で採集した。採集場所は、川の中央の代表的な環境から選定した。地点の状況によりコードラートが使用できない場合は、採泥器を用いて採集した (Peterson grab, 18cm × 15cm × 9回)。採集した試料は目合 0.5mm のフルイでふるい、ホルマリン溶液で固定して分析室に搬入した。

分析室では、ネットまたはフルイ (目合 0.5mm)を用いて試料を洗浄し、ネット、フルイ上に残ったものから動物をピンセットで拾いあげ、顕微鏡下で種の同定を行うとともに、種ごとに個体数の計数と湿重量の測定を行った。

iii) 底生動物 (定性観察)

各地点で観察された底生動物の種名を記録した。観察は、タモ網、引き網などの漁網を用いて行った。また、調査中に観察されたおおよその個体数について種ごとに記録した。

iv) 水生植物

各地点で観察された植物の種名を記録した。

v) その他

参考データとして、底質の状況、底質の色、臭い、水深を観察した。

(3) 調査結果

(a) 水質階級分類

水質に応じた生物の生息状況を理解するため、水質調査結果にもとづき、各地点の水質の状況を概説する。

図 2.6.2 は Mak Hiao 川流域の水質を‘very good’から‘very bad’の 5 階級に分類した模式図である。各生物調査地点における実際の水質調査結果は図 2.6.3 のとおりである。

[市街地エリア (B2, B3, B4): Very bad]

B2、B3、B4 が位置する市街地エリア (都市排水路内) の水質は、特に乾期に汚濁が非常に進んでいる。各地点で観測された乾期の BOD は 10mg/l を上回っており (図 2.6.3)、都市排水路内の水質調査 9 地点の値の平均では最大 20mg/l に達している (図 2.6.4)。そのため水質階級を‘very bad’に分類した。一方、これらの汚濁した水質は、雨期には一時的に改善され

る。BOD と窒素 ($\text{NH}_3\text{-N}$) の濃度は雨期に大幅に低下し、特に B3、B4 では他の地点のレベルにほぼ達している (図 2.6.3)。

[Mak Hiao 川中流～下流 (B6, B7, B8, B9): bad→fair→good→very good]

Mak Hiao 川の地点 (B6、B7、B8、B9) では、年間をとおして 8mg/l 未満と市街地に比較して低い BOD を示していた (図 2.6.3)。とくに、水質は下流へ向かうほど良好な状態に変化しており (階級は‘bad’→‘fair’→‘good’に変化)、河口の B9 では BOD は 3mg/l 未満まで低下していた (階級は‘very good’に分類)。

中流域の B6 と B7 は、BOD と窒素 ($\text{NH}_3\text{-N}$) の濃度には大きな違いはみられなかったが、B6 では他の地点に比べて DO が低く (図 2.6.5)、汚泥の堆積も認められるなど (写真 2.6.1)、B7 に比べて市街地からの流入負荷の影響を受けていると考えられた。

[市街地上流 (B1, B5): good]

B1、B5 が位置する市街地上流でも、市街地からの廃水の影響を受けていないため、水質は良好な状態となっている。BOD と窒素 ($\text{NH}_3\text{-N}$) の濃度は下流域とほぼ同程度であったことから (図 2.6.3)、水質階級は‘good’とした。

[追加調査地点 (B10-B14)]

That Luang 湿地を含む追加調査地点 (B10-B14) では水質調査を行っていないため、参考として雨期 (2010 年 8 月) と乾期 (2010 年 11 月) に各 1 回、 $\text{NH}_3\text{-N}$ の濃度を測定した。結果をみると (図 2.6.6)、B13 以外では低い値を示しており、良好な水質であった。

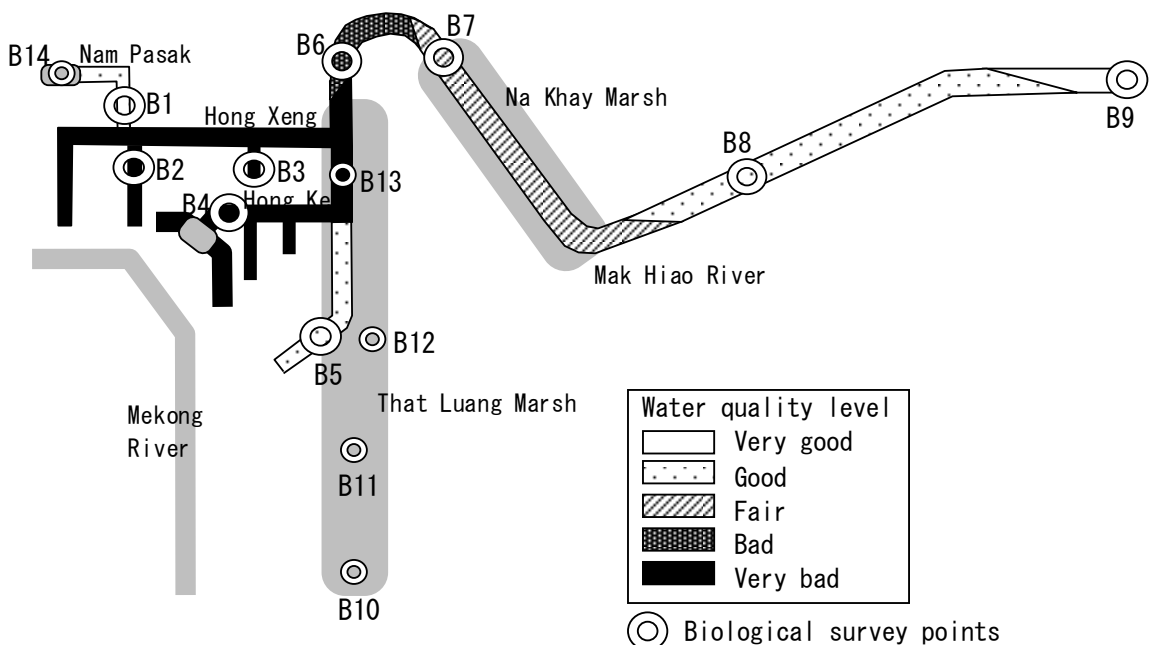


図 2.6.2 Mak Hiao 川流域の水質階級模式図

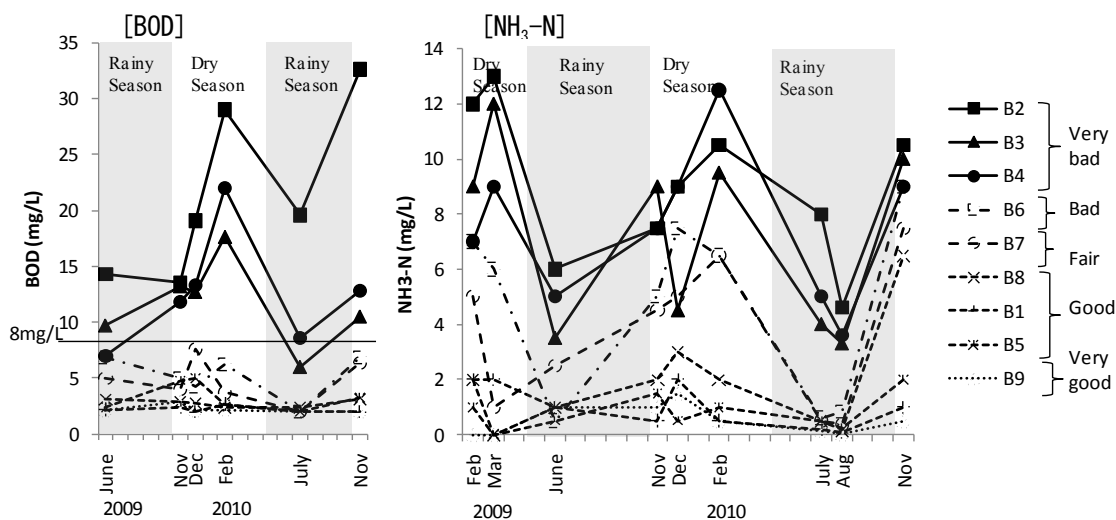


図 2.6.3 各地点で観測された水質

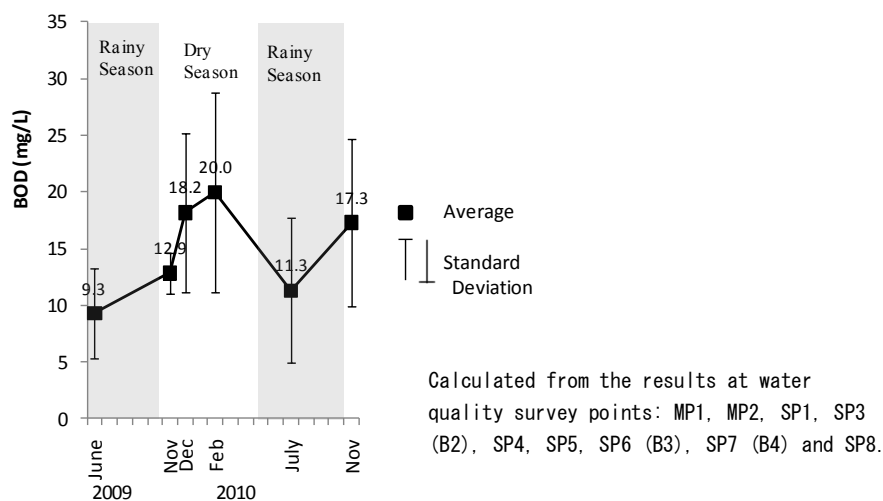


図 2.6.4 都市排水路の水質調査地点における BOD 平均値

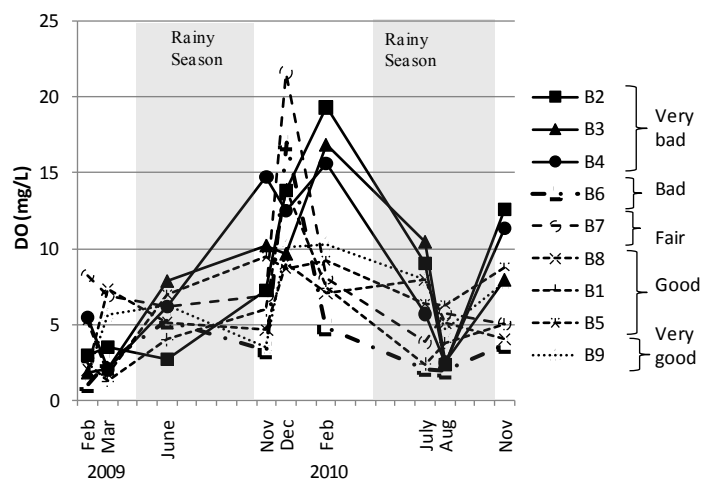


図 2.6.5 各地点の DO



August, 2010

写真 2.6.1 B6 の汚泥

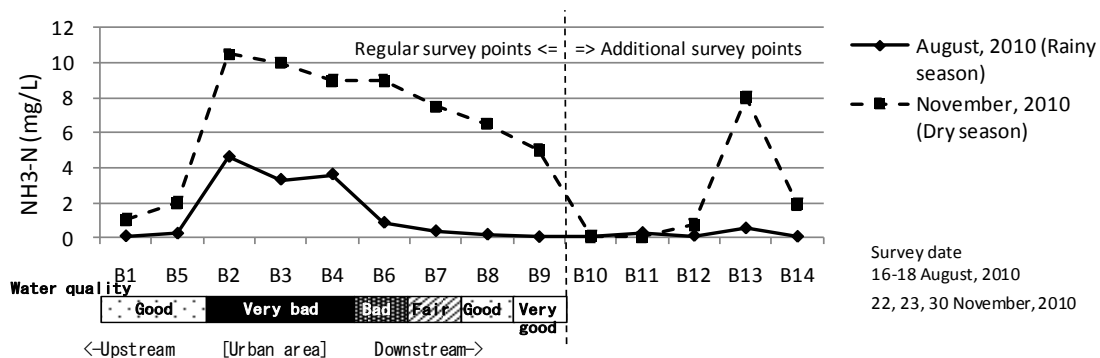


図 2.6.6 定期調査地点と追加調査地点の NH3-N

(b) 魚 類

図 2.5.7 は、8 回の調査において各調査地点で観察された魚類の総種数を示す。

水質が「very bad」に分類された市街地（B2、B3、B4）では、魚類の種数は他の地点に比べ明らかに少なかった。さらに、このエリアでは他の地点に比べ、汚濁耐性種の数全体種数に占める割合が高かった。これらの結果は、市街地エリアでは水質汚濁が進んでいるため、汚濁耐性のある限られた種を除き、ほとんどの魚類が生息できなくなっていることを示していると考えられる。

この状況を乾期と雨期とで比較すると（図 2.6.8）、乾期には市街地（B2~B4）における種数の少なさが際立っており、これに対し、雨期には市街地と周辺との差が比較的小さくなっていた。また、市街地における汚濁耐性種以外の種数は、雨期に増加する傾向にあった（図 2.6.9）。これらの結果は、雨期には流量増加と希釈に伴う一時的な水質の改善により、市街地内の生息環境は一時的に改善され、魚類が入ってきて生息できることを示している。BOD と汚濁耐性種以外の種数の関係をみても（図 2.6.10）、BOD が低い地点では種数が多くなっていることがわかる。なお、図 2.6.9 において、乾期(2010 年 11 月)に種数が多い地点(B3)がみられたが、当時の BOD は 10.5mg/l と乾期にしては低めの値だったことが確認されている。

雨期に市街地内で観察された汚濁耐性種以外の魚種（写真 2.6.2）は、乾期には Mak Hiao 川本流や市街地上流に生息していると考えられる。

追加調査地点で観察された魚類の種数を、定期調査地点の結果と比較して図 2.6.11 に示す。That Luang 湿地に位置する B11 と B12 では、水質階級「fair」から「very good」に区分される良好な水質の定期調査地点と同等の種数が確認された。B10 と B14 では種数が少なかったが、上記したように水質は良好とみられることから、地形やその他の要因によるものと考えられる。

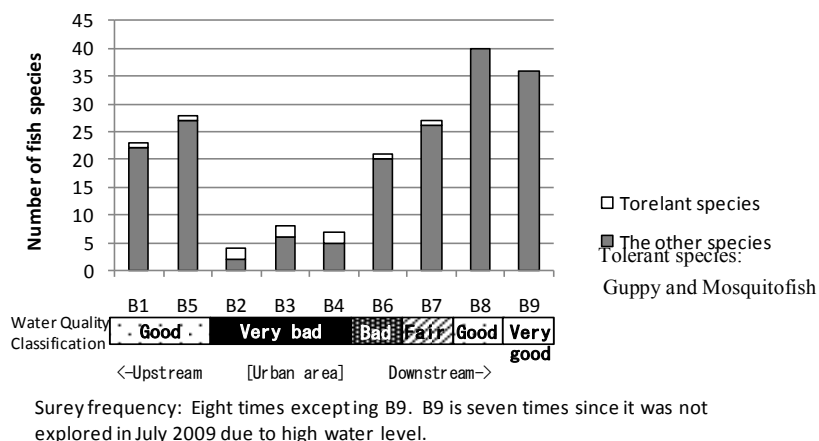


図 2.6.7 8回の調査で観察された魚類の総種数

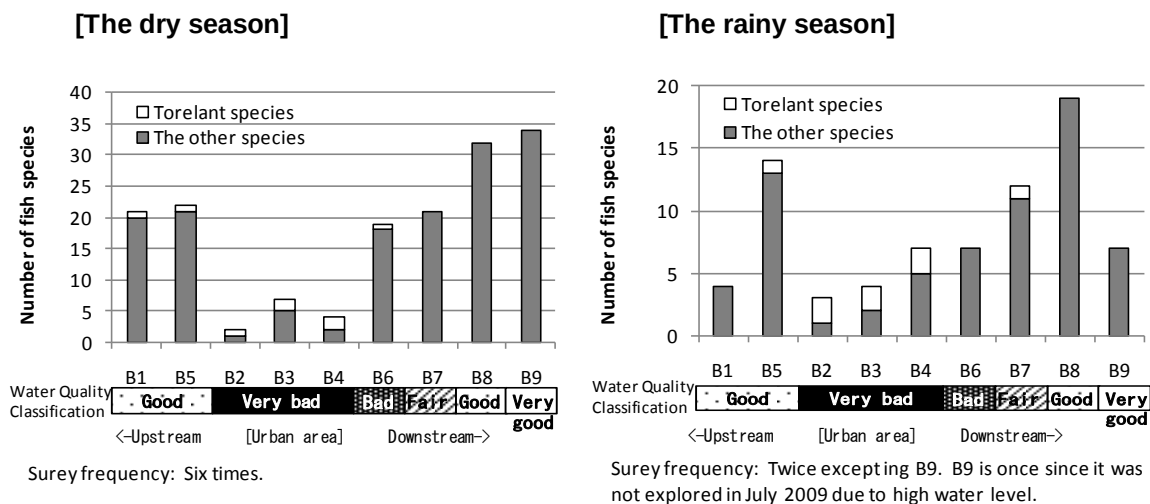


図 2.6.8 乾期と雨期に観察された魚類の総種数

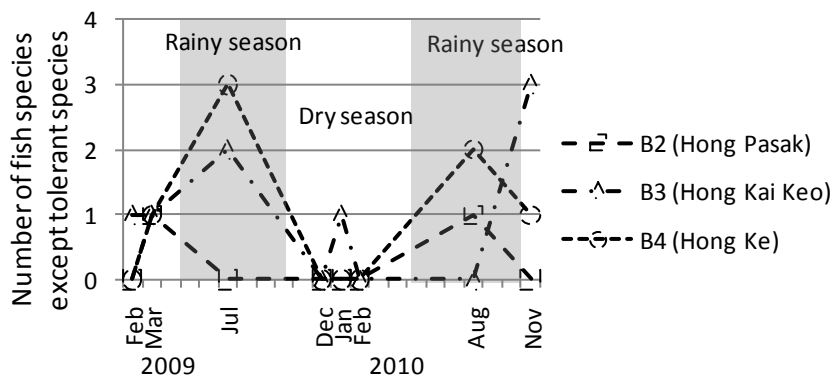


図 2.6.9 市街地における汚濁耐性種（グッピー、カダヤシ）以外の魚種数

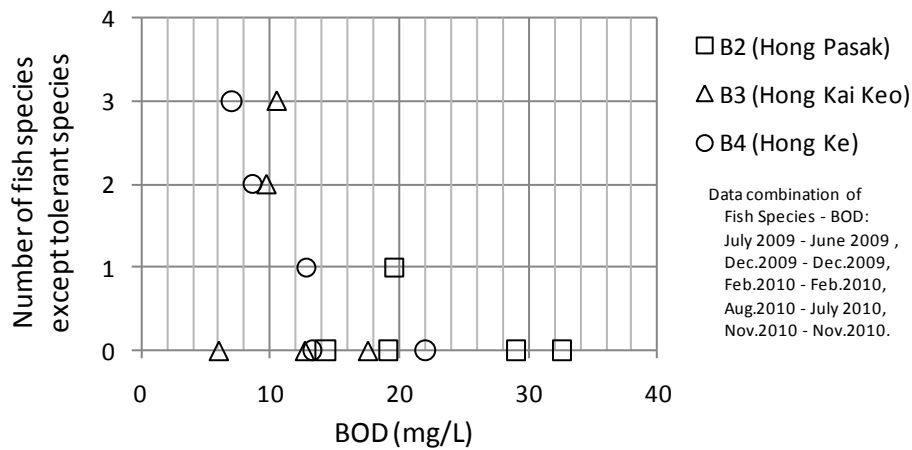


図 2.6.10 BOD と汚濁耐性種以外の魚種数の関係

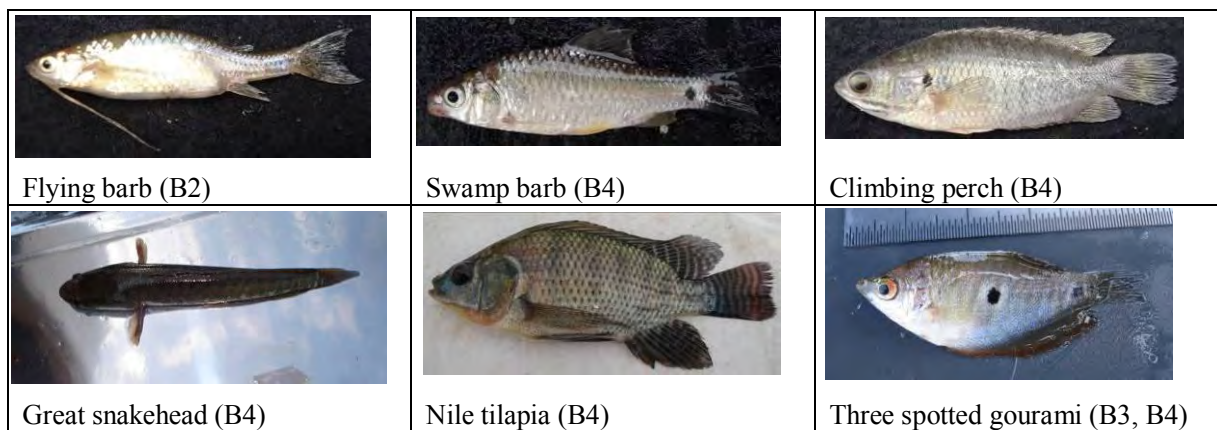
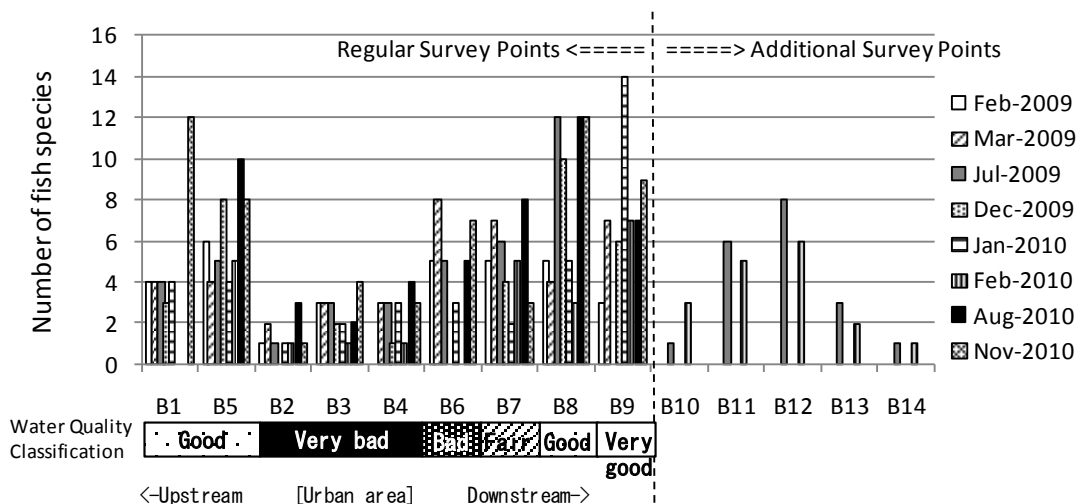


写真 2.6.2 雨期に市街地内で観察された魚種



Survey frequency: Additional points are twice, while the other points are eight times excepting B9.
B9 was not explored in July 2009 due to high water level.

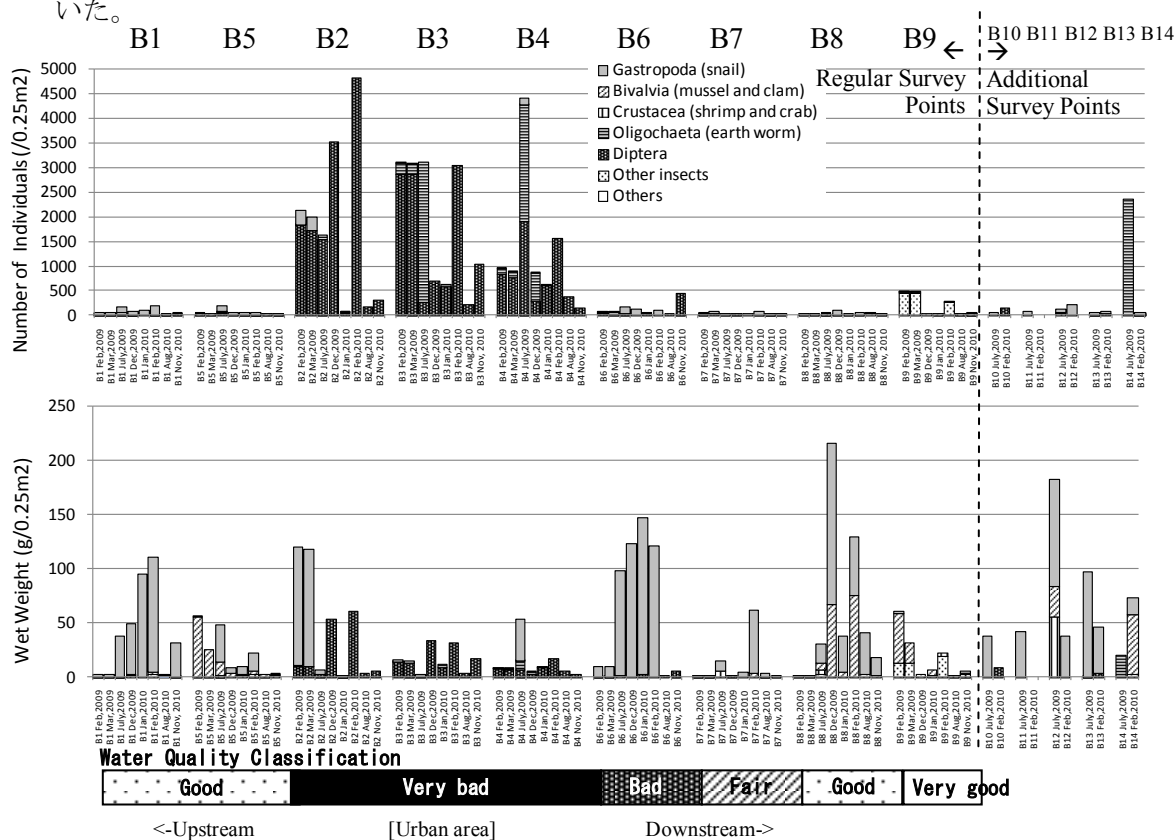
図 2.6.11 定期調査地点と追加調査地点での確認魚種数

(c) 底生動物

採集された底生動物の個体数と湿重量を図 2.6.12 に示す

底生動物は、各地点の水質に応じて異なる種の生息が確認された。

‘very bad’に分類された水質のエリア（B2-B4）では、多量の diptera 幼虫（ユスリカ、ボウフラ、チョウバエ）と oligochaeta（ミミズ類）が採集された。湿重量でみると、多くの地点で gastropoda（巻貝）と bivalvia（二枚貝）が優占しており、gastropoda は水質に対して広い範囲に分布しているのに対し、二枚貝は‘good’と‘very good’の水質階級に集中する傾向にあった。また、トビケラ（other insects に分類）が、‘very good’の階級である B9 で優占していた。



Notes 1) Additional survey points were explored only in July and February, 2010.
2) B9 was not explored in July 2010 due to high water level.

図 2.6.12 採集された底生動物の個体数と湿重量

(d) 植物

植物の種数は水質階級と直接関係しておらず、‘very bad’に分類された水質のエリアでも多くの種が確認された。一般に、水生植物は生育形態によって浮葉植物（floating species）、抽水植物（emerged species）、沈水植物（submerged species）、縁辺植物（marginal species）の4つに分類される（図 2.6.13）。これに陸上性の種（terrestrial species）を加えた5つの分類に従い、定期調査地点でこれまでに確認された種を分類し、分類別の種数を図 2.6.14 に示した。陸上性の種（terrestrial species）を除く水生植物だけでみても、市街地エリアでは多くの

植物種が確認されており、水路に豊かな水生植物相が形成されていることを示していた。水生植物の根や葉の間は魚類等の水生生物の生息場となるため、市街地エリアの水質が改善されることによって、水路内にも多様な魚類等が生息できるようになる可能性を示していると考えられる。

追加調査地点で観察された植物の種数を、定期調査地点の結果と比較して図 2.6.15 に示す。That Luang 湿地を含む追加調査地点における植物の種数は、定期調査地点とほぼ同等であった。

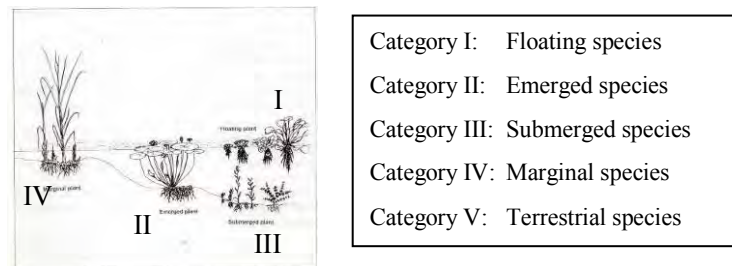
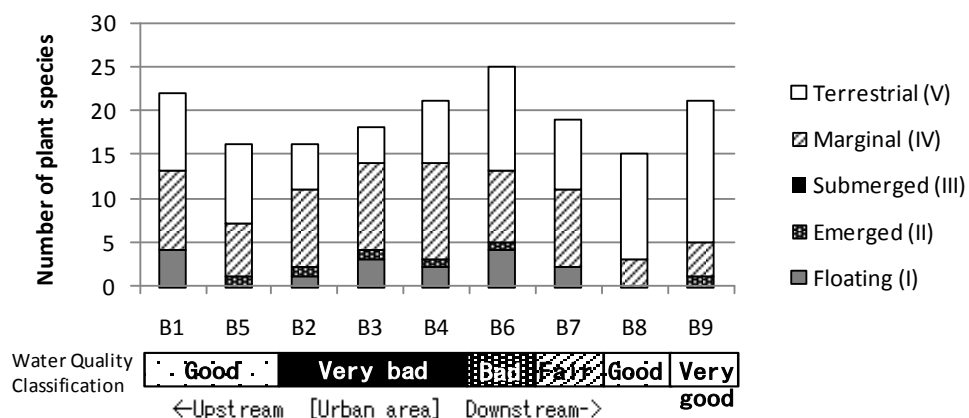
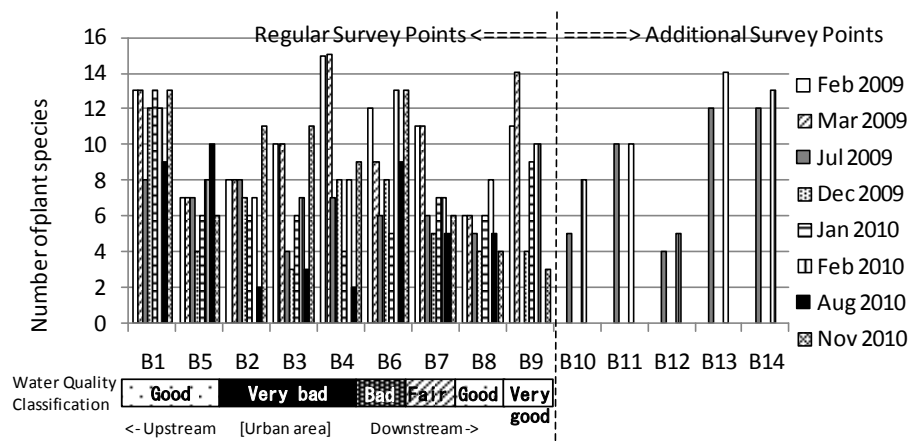


図 2.6.13 植物の生育形態による区分



Survey frequency: Eight times excepting B9. B9 was not explored in July 2009 due to high water level.

図 2.6.14 定期調査地点における生育形態別にみた植物の種数



Survey frequency: Additional points are twice, while the other points are eight times excepting B9. B9 was not explored in July 2009 due to high water level.

図 2.6.15 定期調査地点と追加調査地点で確認された植物の種数

(4) 生物指標の作成

調査結果によれば、魚類と底生動物は水質に応じて分布しており、例えば、ある種が主に‘good’または‘very good’の水質階級で確認されたのに対し、他の種は‘very bad’のエリアに集中していた。こうした分布の偏りをもとに、表 2.6.4 に示す種を指標生物として選定した。これらは魚類 3 グループ (F-I, F-II, F-III)、底生動物 3 グループ (B-I, B-II, B-III) の計 6 つのグループで構成される。各グループが指標する水質の範囲を表 2.6.5 に示す。また、各種の写真を、その指標する水質及び環境の状況とともに、表 2.6.6 に整理した。

‘very bad’の水質階級に分類している市街地エリアは最も汚濁が進んでおり、確認される種はほとんど汚濁耐性種 (F-I, B-I) のみであり、他の種は生息困難となっている。F-I に分類されたグッピー (Guppy) とカダヤシ (Mosquitofish) は、より良好な水質でも生息可能であるが、汚濁した水質のエリアに集中する傾向にある。B-I は、一般に人間生活に不快な種であるユスリカ、蚊やチョウバエの幼虫で構成されている。

‘bad’と‘fair’に分類されたより良好な水質階級は、グッピーとカダヤシ以外の魚種で指標される (F-II)。それらには、ドジョウ (loach)、キノボリウオ (climbing perch)、ティラピア (tilapia) などの水産上有用な種も含まれる。このエリアでは多くの巻き貝の種が確認されるが、水質を指標する底生動物はみられない (巻き貝は広い水質範囲に分布する)。

‘good’、‘very good’の水質階級では、水産上有用な種の数が多くなり、淡水性のサヨリ、リーフフィッシュ、ナマズ、ウナギの仲間などが指標生物に含まれる (F-III)。また、二枚貝、トンボの幼虫などの有用底生動物が‘good’の水質階級を指標する (B-II)。‘very good’の水質階級では、他の二枚貝種とトビケラが指標種となる (B-III)。

これらの指標種は、調査で確認された種のうち、確認回数が比較的多く、水質に対する分布の偏りが認められたもので、特に魚類については種小名まで判明しているものから選定した。しかし、各グループおよび各種が指標する水質の範囲は互いに重なりあっており、また、明確に区分しきれない場合もみられた。今後、調査データや知見が蓄積されていくなかで、各種の水質指標性について、検証や見直しを行うことが望まれる。

表 2.6.4 指標生物に選定された種

Group		Species Name		
		Scientific name	English name	Local name
Fish	F-I	<i>Poecilia reticulata</i>	Guppy	ປາທາງນົກຍຸງ
		<i>Gambusia affinis</i>	Mosquitofish	ປາທາງນົກຍຸງ
	F-II	<i>Acanthopsoides delphax</i>	Loach	ປາຮາກກ້ວຍ ☺
		<i>Esomus longimana</i>	Mekong flying barb	ປາຊີວໜວດ ☺
		<i>Puntius brevis</i>	Swamp barb	ປາຂາວກັກທາງຈ້າ
		<i>Rasbora rubrodorsalis</i>	Red-fin rasbora	ປາຊີວດອກເຂົ້າ ☺
		<i>Anabas testudineus</i>	Climbing perch	ປາເຂງ ☺
		<i>Trichopsis vittata</i>	Croaking gourami	ປາມັດ
		<i>Oreochromis niloticus</i>	Nile tilapia	ປານິນ ☺
	F-III	<i>Xenentodon canciloides</i>	Freshwater garfish	ປາສັບໄທງ ☺
		<i>Cyclocheilichthys repasson</i>	White eye barb	ປາດອກງົວ ☺
		<i>Osteochilus lini</i>		ປາອີມຸມ ☺
		<i>Pristolepis fasciata</i>	Malayan leaffish	ປາກຳ ☺
		<i>Mystus albolineatus</i>	Striped catfish	ປາຂະແຂງ ☺
		<i>Mystus atrifasciatus</i>	Catfish	ປາຂະແຂງ ☺
		<i>Mystus mysticetus</i>	Striped catfish	ປາຂະແຂງ ☺
		<i>Mystus mysticetus</i>	Catfish	ປາຂະແຂງ ☺
		<i>Ompok bimaculatus</i>	Butter catfish	ປາເຊືອມ ☺
		<i>Macrogathus siamensis</i>	Peacock eel	ປາຫິດ ☺
Benthic invertebrates	B-I	<i>Chironomus tentans</i>	Blood worm	
		<i>Procladius</i> sp.	Blood worm	
		Culicidae	Mosquito	
		<i>Psychoda alternate</i>	Moth fly	
	B-II	<i>Ensisidens ingallsianus</i>	Mussel	☺
		<i>Corbicula</i> sp.	Clam	☺
		<i>Tricorythodes albilineatus</i>	Mayfly	
		<i>Cercotmetus</i> sp.	Water scorpions	
		<i>Anax junius</i>	Dragonfly	☺
		<i>Epicordulia</i> sp.	Dragonfly	☺
	B-III	<i>Anodonta cygnea</i>	Mussel	☺
		<i>Macrostemum</i> sp.	Caddis fly	
		<i>Cheumatopsych pettiti</i>	Caddis fly	

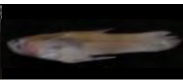
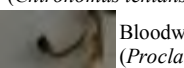
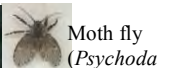
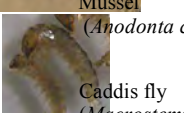
Note: ☺ shows valuable species for fishery.

表 2.6.5 選定された種による水質の指標範囲

Water quality level		Very bad	Bad	Fair	Good	Very good
Group	BOD	>10 mg/l *	4-8 mg/l	4-8mg/l	2-5mg/l	2-3mg/l
	NH ₃ -N	>3mg/l	1-9mg/l	1-8mg/l	<3mg/l	<2mg/l
	DO		Low			
	Survey points	B2,B3,B4	B6	B7	B1,B5,B8	B9
Fish	F-I	↔	-----	-----	-----	
	F-II		↔	↔	↔	-----
	F-III				↔	↔
Benthic invertebrates	B-I	↔				
	B-II				↔	
	B-III					↔

Note: *Dry season.

表 2.6.6 生物指標

Water Quality	General Condition	Indicator Species
Very bad	 BOD >10mg/l, NH₃-N >3mg/l Smelly black colored mud with rubbish.	 Guppy  Mosquitofish  Guppy and Mosquitofish  Bloodworm (<i>Chironomus tentans</i>)  Mosquito  Bloodworm (<i>Procladius</i> sp.)  Moth fly (<i>Psychoda</i>)
Bad to Fair	 BOD 4-8mg/l, NH₃-N 1-9mg/l Turbid yellowish water. A little muddy sediment.	 Loach (<i>Acanthopsoides delphax</i>)*  Barb (<i>Puntius brevis</i>)  Croaking gourami  Mekong flying barb  Climbing perch  Nile tilapia  Rasbora (<i>Rasbora</i>)
Good	 BOD 2-5mg/l, NH₃-N <3mg/l Turbid water without pollution. Riverbed consists of clean soil.	 Mussel (<i>Ensis ingallsianus</i>)  Clam (<i>Corbicula</i> sp.)  Water scorpion (<i>Cercotmetus</i> sp.)  Dragonfly (<i>Epicordulia</i> sp.)  Catfish (<i>Mystus atrifasciatus</i>)  Catfish (<i>Mystus mysticetus</i>)  Malayan leaf fish  Freshwater garfish  Butter catfish  Peacock eel
Very good	 BOD 2-3mg/l, NH₃-N <2mg/l Water flows washing the riverbed which consists of gravels.	 Mussel (<i>Anodonta cygnea</i>)  Caddis fly (<i>Macrostemum</i> sp.)  Caddis fly (<i>Cheumatopsyche peltiti</i>)

Source of the photo with *

Moth fly (*Psychoda alternate*)
Loach (*Acanthopsoides delphax*)

<http://hydrobiology-bg.com/> and <http://entopl.okstate.edu/ddd/insects/mothfly.htm>
<http://www.fishbase.org/>

(5) 水生生物からみた水質目標

調査によって明らかになった Mak Hiao 川流域の水生生物生息状況に基づき、図 2.6.16 に示す区分ごとに水質の改善目標を提案する。

[市街地エリア (都市排水路): 目標 BOD <8-12mg/l]

Hong Xeng、Hong Ke とこれに接続する都市排水路内では、水質汚濁のため、汚濁耐性のある限られた魚種やユスリカ、ボウフラなど人間生活に不快な生物を除き、水生生物の生息が全般に困難になっている。一方、都市排水路を挟む上流と下流には多様な種が確認されていることから、都市排水路内の水質が上流や下流と同等のレベルにまで改善されれば、魚類など移動性の高い生物は河川全体を行き来することが可能となり、流域の生物生産の向上にもつながると期待される。上流、下流の BOD は高くとも 8mg/l であるため、都市排水路における望ましい水質改善目標として 8mg/l を提案する（図 2.6.17 a 参照）。

一方、都市排水路内の現状の BOD は特に乾期に非常に高く、水質調査地点 9 地点の平均は 20mg/l に達している。そのため、乾期については直ちに 8mg/l の目標を達成するのは容易でなく、当面の目標が必要である。都市排水路の BOD は、雨期には希釈によって値が低くなり、これに伴い耐性種以外の魚類が遡上してきて一時的に生息することが確認されている。そこで、乾期における当面の目標として、雨期と同等の BOD を目指すこととし、これまでの 2 回の雨期の調査で測定した BOD 平均値がいずれも 12mg/l を下回っていたことから、目標値として BOD12mg/l を提案する（図 2.6.17 b 参照）。

[Mak Hiao 川中流、That Luang 湿地: 目標 BOD <8mg/l]

That Luang 湿地を含む Mak Hiao 川本流の水質は、Hong Xeng、Hong Ke の流入地点周辺を除き、汚濁耐性種以外の生物種が生息可能なレベルに維持されており、現状の BOD は高くとも 8mg/l である。ただし、市街地の下流側（B6）については市街地からの流入に起因するとみられる汚泥の堆積が観察され、DO も低くなっており、必ずしも生物にとって最適な状況とはいえない。また、もし、このまま市街地からの負荷が継続あるいは増大すれば、将来的に生息環境が悪化し、現在の都市排水路内と同様の生物しか棲めなくなる可能性も危惧される。そのため、現状の 8mg/l を維持目標としながら、注意深い監視を行うことが望まれる。

[Mak Hiao 川下流（河口周辺）: 目標 BOD <5mg/l]

Mak Hiao 川河口近くの水質は年間をとおして BOD 5mg/l 以下と良好であり、水産有用種をはじめとする多様な生物種が確認されている。現在のところ悪化の兆候なども認められず、今後も現状維持が望まれる。

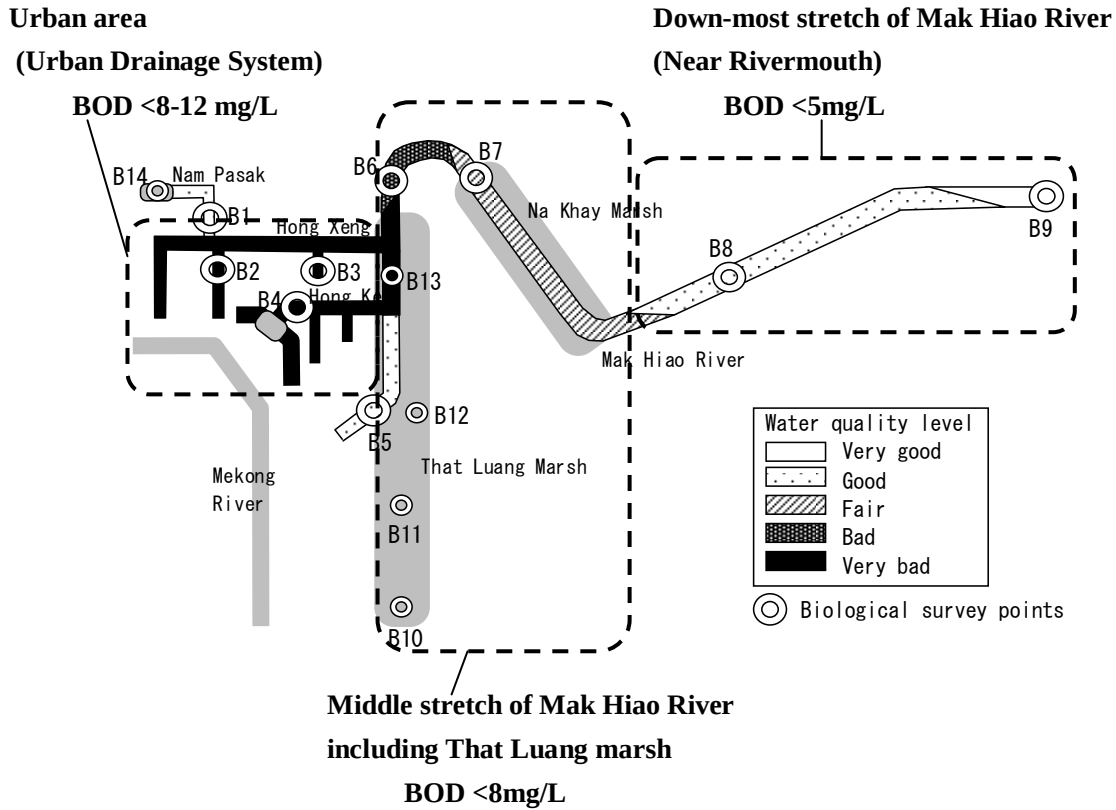


図 2.6.16 Mak Hiao 川流域の水質改善目標 (BOD)

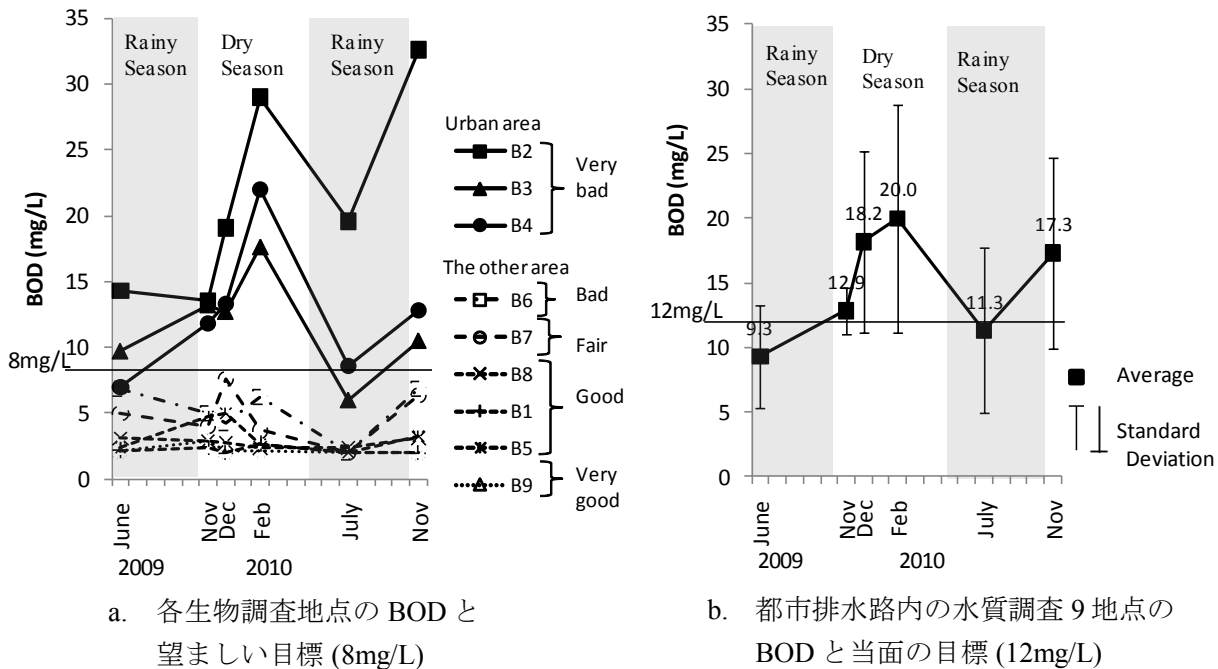


図 2.6.17 BOD 観測値と都市排水路の水質目標値

2.6.2 漁 業

漁業は、Mak Hiao 川流域に住む人々にとって重要な生計手段の一つであり、その手法は漁獲漁業と養殖に大別される。農林省（Ministry of Agriculture and Forestry）によれば、ほとんどが小規模な自家消費用の形態であるため、Mak Hiao 川流域における漁獲統計などは存在していない。

That Luang 湿地周辺で実施された過去の調査によれば、表 2.6.7 のとおり、That Luang 湿地の漁獲漁業による年間漁獲量は 1,547,836 – 2,050,439 kg と見積もられている。対象種のほとんどは魚類であるが、カエルのほか巻き貝などの無脊椎動物も含まれている。漁獲対象種を表 2.6.8 に示す。

That Luang 湿地の養殖による漁獲量は比較的少なく、関連資料によれば、年間 159,807 kg と見積もられている。養殖は、人工の池と自然の池において 2 つの方法で行われており、ひとつは幼魚を池に放流して育てる方法、もうひとつは雨期に自然に池に入ってきた魚を漁獲する方法である。ビエンチャン市の農林局（Department of Agriculture and Forestry）によれば、自然の池に入ってくる魚種としては、*Channa lucia*、*Channa striata* (タイワンドジョウ科)、*Anabas testudineus* (キノボリウオ)、*Barbodes gonionotus* (コイ科)などがあげられる。

表 2.6.7 That Luang 湿地における漁獲漁業の漁獲量

Type of Species	Average Collection per Household (kg/year)	Total Collection for the Entire That Luang Marsh (kg/year)
Fish	300-480	837,672-1,340,275
Snails	175	488,642
Frogs	17	48,402
Inverts	62	173,119
Total	554-734	1,547,836 – 2,050,439

Source: Gerrard, P., 2004, Integrating Wetland Ecosystem Values into Urban Planning: The Case of That Luang Marsh, Vientiane, Lao PDR, IUCN – The World Conservation Union Asia Regional Environmental Economics Programme and WWF Lao Country Office, Vientiane

表 2.6.8 That Luang 湿地で漁獲される種

	Fish	Others
Species name	Walking catfish Broadhead catfish Grass carp Great white sheatfish Eel Croaking gourami Glass catfish Swamp barb Asiatic snakehead Fighting fish Silver carp Climbing perch Chevron snakehead Common carp Tilapia Common silver barb Snakesking gourami Striped flying barb Asiatic swamp eel	Frogs Toads Snails June Beetles Freshwater Shrimp

Source: Samuelsson, T. 1998. Inventory of Wetlands in Vientiane, Lao PDR. School of Engineering Kristianstad University, Sweden.(cited from Gerrard(2004))

2.7 環境教育

2.7.1 既往プロジェクトにおける環境教育

(1) 都市環境ガイドライン - ラオスの都市管理 - (PTI, Quebec/ Canada, 1998 - 2001)

これは、PTI が主体となり、カナダ国ケベック州の支援を受け 4 年間実施した MPWT 職員向け環境教育 TOT (training of trainers) プロジェクトである。テーマは 1) 環境管理全般、2) 水環境保全、3) 固形廃棄物管理及び 4) 環境関連規制である。

最初の 1 年半は、4 人のケベック及びモントリオール州大学職員が講師として MPWT 職員 7 名に 3 ヶ月程度の TOT を実施した。後半の 2 年半は、上記訓練を受けた 7 名の MPWT トレーナーが、各自の担当ごとに MPWT 実務レベル (Director of Division クラス) 職員にワークショップ形式でトレーニングを行った。一部ワークショップには Village Chief も参加した (ただし彼らの理解度に合わせてより易しく講義)。

成果品として、おもに政府職員向けの環境一般にかかるラオス語版テキストを刊行した。

(2) 環境管理能力向上プロジェクト・フェーズ II (WREA-SIDA, 2006 - 2010)

本プロジェクトは、SIDA の支援による環境全般を対象とした WREA の総合的な能力向上 (CD) プロジェクトである。プロジェクトの Phase I (2001 - 2005) 及び Phase II (2006 - 2010) が完了している。

Phase II の環境教育及び啓発 (EEA) 活動は、Department of Environment の Environment Promotion Division により STEA (現 WREA の前身) が 2004 年に策定・公布した制令 "National Strategy on Environment Education and Awareness to the years 2020 and Action Plan for the years 2006 - 2010" に準拠して実施された。

教育省の国立教育科学研究所 (NRIES) 及び一般教育局 (Department of General Education)、National Media Department など多くの関連機関と連携して多彩な EEA 活動が実施された。

実施された主要 EEA 活動を以下に示す。

- 全ての公教育における EEA カリキュラム (質問票調査及びワークショップ活動)
- マスメディアを通じたキャンペーン:
 - 記念キャンペーン、環境横断幕作成、マスメディア及び公共バス運転手向け TOT
 - 環境ソング作曲
 - 環境テレビ及びラジオ番組放送
- 民間部門及び NGO 向け宣伝ワークショップ
- 緑のモデル校 (対象 14 小学校、教師向け TOT を含む)

本プロジェクト全体の活動項目は非常に多いので、個別の活動は包括的 (浅く広く) なものである。

SIDA の支援を得て以下の EEA 活動成果品が作成されている。

- 小学生及び大人向け副読本「気候変動」、「廃棄物管理」及び「ごみの分別」（2007 年刊行）（写真 2.7.1 参照）
- EEA 研修アプローチ及び研修ガイドライン（2009）
- 気候変動、廃棄物管理等の啓発ポスター、パンフレット及びステッカー（2007 年刊行）
- 世界環境デーコンサート（2007 年 6 月 5 日）のオリジナルソングブック及び CD3 種（SIDA, UNDP, WB, WWF, IUCN が協賛出資）



写真 2.7.1 WREA-SIDA プロジェクト作成環境教育副読本

(3) That Luang 湿地プロジェクト (STEAM-WWF, 2007-2009)

Science, Technology and Environment Agency (WREA の前身)と WWF は That Luang 湿地プロジェクトを 2007 年から 2009 年にかけて実施し、構造物対策としては以下の市内 5 箇所で水質改善のための人工湿地を造成した。WWF は引き続き本プロジェクトのフェーズ 2 を実施予定で、より大規模な人工湿地の造成を計画している。

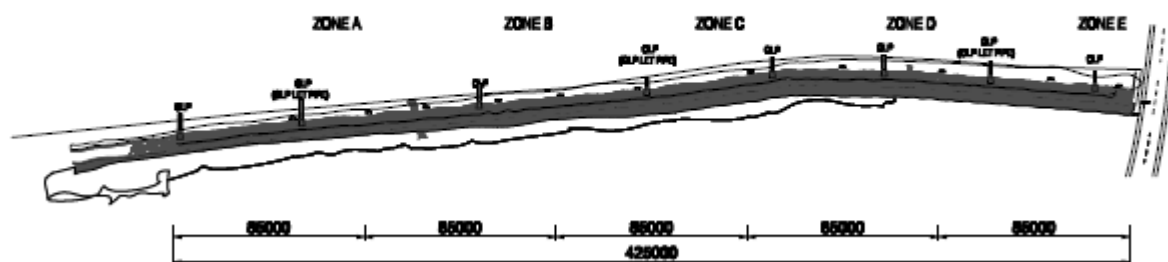
- Xaysetha 郡 None Khor 村の None Khor 小学校
- Xaysetha 郡 None Khor 村内の民家
- Xaysetha 郡 Viengchalearn 村内の Hong Xeng に流入する小水路
- Hatxaifong 郡 Nong Hai 村
- Hatxaifong 郡のビアラオ工場周辺水路

【事例】ビアラオ工場周辺水路については、工場排水処理のモデルとして建設されたものである。工場内では施設を設置して排水の処理を行っているが、洗浄水の一部と敷地内に降った雨水が未処理のまま排出されていた。すべての工場排水と雨水が人工湿地に集められ、最終的な処理が行われている。



出典：WWF

写真 2.7.2 ビアラオ工場周辺水路



出典：WWF

図 2.7.1 ビアラオ工場周辺水路

(4) Sanitary Model Village プロジェクト（ビエンチャン市保健局、2003 -）

ビエンチャン市保健局（DOH：Department of Health, Vientiane）が 6 年前から衛生教育として Sanitary Model Village Project を実施している。ビエンチャン市の Committee of Development of Urban and Rural Area にて関係部局と協議しつつ活動を行っている。

対象は市内の全ての村（ラオス語で Ban）である。DOH による村住民への教育・啓発活動内容は、ワクチン接種、汚水処理、公衆衛生、ゴミ処理等である。市内 9 郡（District）の DOH の District Office の職員が講師として管轄下の村に出向いて活動を行っている。

2010年までに80%の村での啓発活動を完了している。各村における達成度は、郡保健事務所員が共通の表を用いて評価し、優秀な成果を上げた村を表彰している。

(5) 緑の学校プロジェクト（ビエンチャン市教育局、2006-）

ビエンチャン市教育局（DOE：Department of Education, Vientiane）は市の方針に基づき、学校敷地の環境美化活動として植樹活動を行う Green School プロジェクトを 2006 年から実施している。対象となる小・中・高校を市内から計 107 校（公立 86 校、私立 21 校）選定して活動を行っている。各校の活動成果を 3 段階（優・良・可）で評価し、優秀な成績を収めた上位 9 校（小・中・高それぞれ 3 校ずつ）を表彰している。

(6) VIUDP（ADB, 1997-2000）

ADB による VIUDP（Vientiane Integrated Urban Development Project）では、当初計画されていたコミュニティレベルでの環境教育は行われず、環境キャンペーン活動のみ実施された。

なお、引き続き実施された VUISP（Vientiane Urban Infrastructure and Services Project: ADB, 2003-2007）では環境教育は行われていない。

2.7.2 ビエンチャン市のコミュニティ構造と教育システム

(1) ビエンチャン市のコミュニティ構造

ビエンチャン市は 9 つの郡（district）から構成され、それら郡の下に最小行政単位である 491 の村（ラオス語で Ban）が置かれている。村は複数の集落（ラオス語では Ngoi）の集まりである。

ビエンチャン市では政府の方針により現在村の合併が進行中である。特に都心をカバーする Chanthaboury 郡では 2009 年 6 月に合併により村の数が 37 から 32 に減少した。

郡事務所（District Office）の典型的な組織構成を図 2.7.2 に示す。

各村（Ban）には村長、副村長 2 名、治安委員会、経済委員会、社会文化委員会とそれら各委員会のもとに複数の活動ユニットが置かれている。加えて、大衆組織の支部として、婦人同盟ユニット（Lao Women's Union）、青年同盟ユニット（Youth Union）、ラオス国家復興前線（Lao Front for National Reconstruction）が設置されている。この基本構造はラオス国内全ての村ではほぼ同様となっている。村事務所の典型的な組織構成を図 2.7.3 に示す。

都心部 4 郡内では、いくつかの村に WREO（WREA ビエンチャン市）により Village Environment Unit（VEU）が設置されている。

ラオスのコミュニティでは、1 つの村に 1 つの村役場、1 つの小学校、1 つの寺と言う構成が基本となっている。中学・高校は小学校と比較して数が少なく地域的に偏在し、しかもラオスでは義務教育でないこともあり、コミュニティの基本構成要素とは言えない。

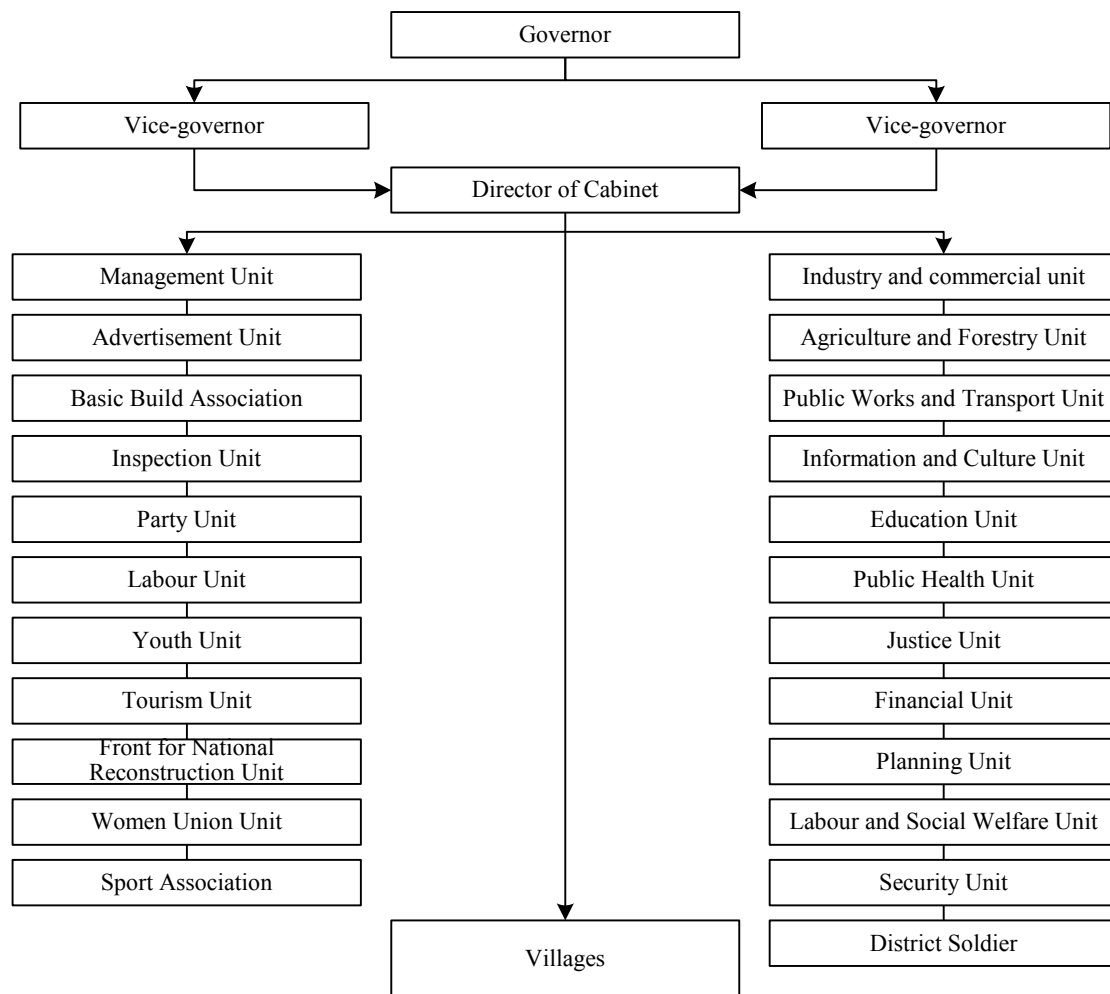


図 2.7.2 郡事務所組織図

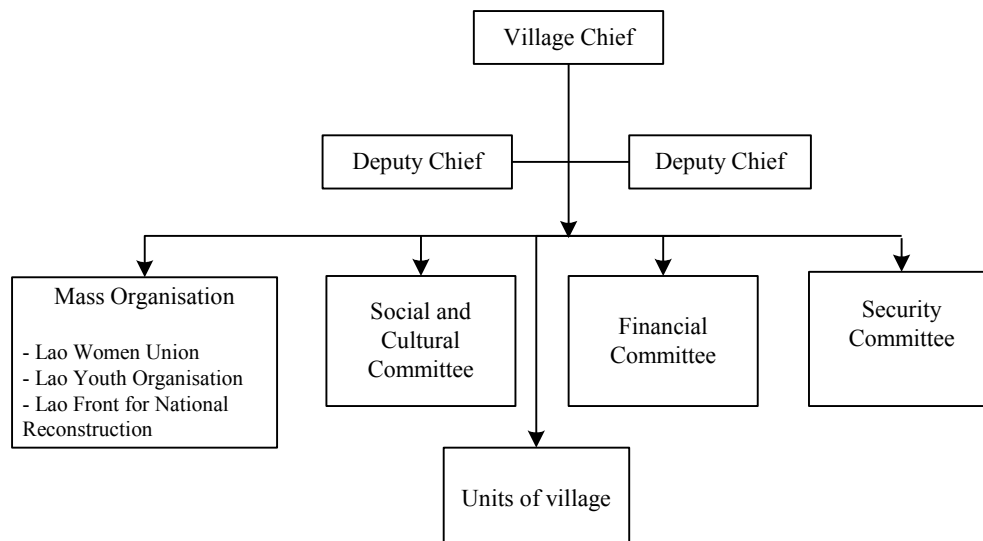


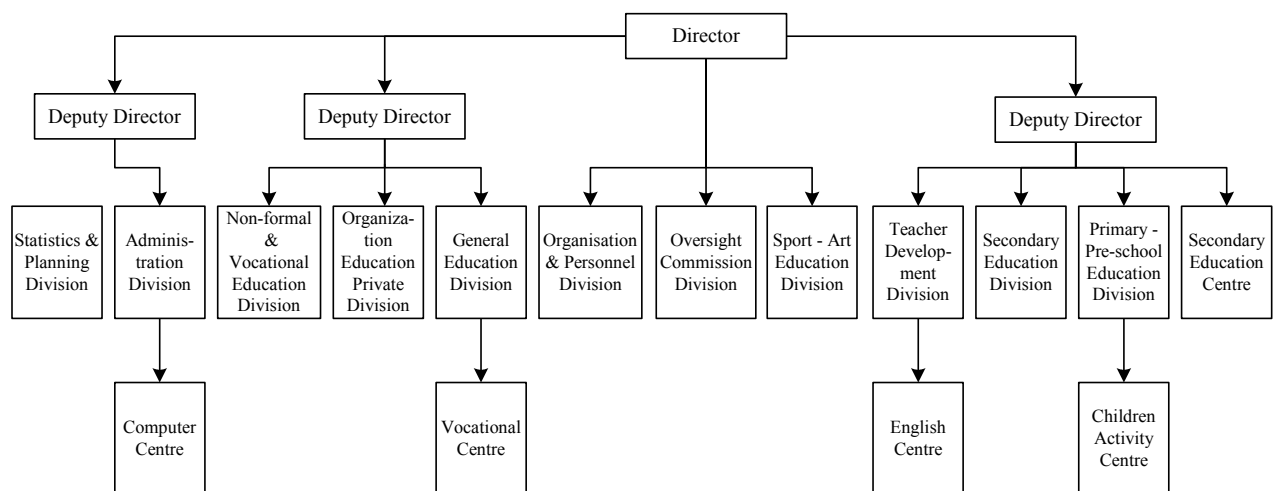
図 2.7.3 村事務所組織図

(2) ビエンチャン市の教育状況

ラオスでは小学校（義務教育 5 年）、中学校（4 年）、高等学校（3 年）が基本的な公教育となっている。中学校は 2010 年に 3 年制から 4 年制に変更となった。教育省が教育政策を立案するものの、ビエンチャン市では各学校の管轄は以下のようになっている。

- 大学及び職業学校： 教育省
- 高等学校： 市教育局（Department of Education, Vientiane）
- 幼稚園及び小中学校： 郡教育事務所（District Educational Office）

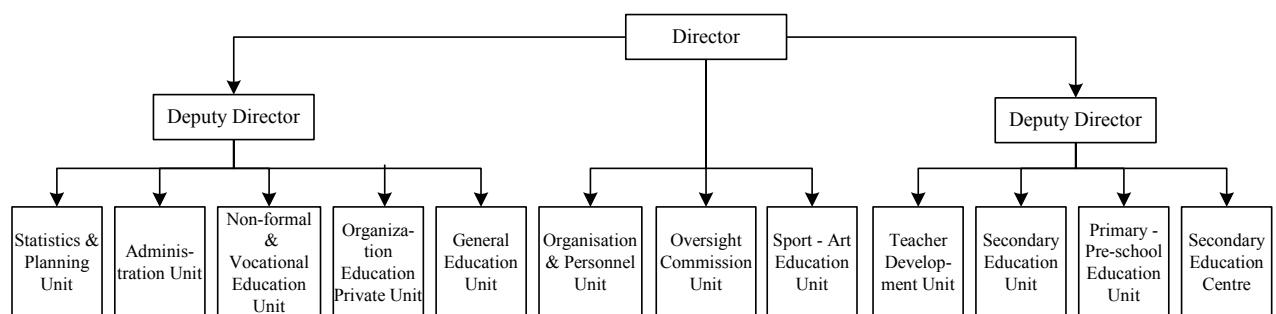
ビエンチャン市教育局の組織図を図 2.7.4 に示す。



出典：ビエンチャン市教育事務所

図 2.7.4 ビエンチャン市教育局組織図

郡教育事務所の組織図を図 2.7.5 に示す。ビエンチャン市教育局の管轄下に 9 つの郡教育事務所がある。



出典：ビエンチャン市教育事務所

図 2.7.5 郡教育事務所組織図

(3) 小学校の概要

本調査パイロット・プロジェクトの環境教育は小学校を主対象に実施した（3.3 節参照）。ラオスでは基本的に 1 村（Ban）に 1 公立小学校の設置を原則としている。ビエンチャン市においては、2010 年時点で村総数は 491、公立小学校総数は 399（その内 4-5 学年を有する完全校は 353 校）となっている。殆どが商工業ないし行政施設等で占められるビエンチャン都心部の稠密市街地の村には小学校が設置されていない場合が多い。

小学校のカリキュラムは正規 7 教科がおおよそ 80%、課外活動が 20%（2 時間/週）で構成されている。正規 7 教科とは、ラオス語、算数、私たちの身の回り（歴史、自然科学、道徳などを含む）、芸術、体育、音楽、工芸である。課外活動は日本の「総合学習の時間」に相当するものである。学期は 1 学期が 9 月 1 日～1 月 31 日、2 学期が 2 月 1 日～5 月 30 日であり、6 月から 8 月にかけての 3 ヶ月間は授業が休みとなる。

(4) 村の住民と小学校の関係

村の小学校と住民の結びつきは、PPA（児童の親の会）ないし村事務所を通じて非常に強いものがある。村の集会は殆ど小学校や寺で行われている。郡教育事務所の予算の制約もあって、小学校施設の維持管理は実質的には村事務所の責任で行われている。小学校長が必要資機材（机・椅子等）の購入・補修予算計画を村事務所に提出して協議、住民が費用を負担して購入・補修する仕組みとなっている。

2.8 クウシンサイを利用した水質浄化手法についての試験的検証

2.8.1 背景

ビエンチャン市内の水路は、合流式下水路であるため生活雑排水の直接的な流入により、悪臭の発生、汚泥の堆積等の水質汚濁が起こっている。これらの状況は、排水処理施設の設置ならびにコミュニティ衛生（Community Based Sanitation: CBS）等による水質改善対策を適切に導入することで、改善されるものと考えられる。

しかしながら、上記の排水処理施設を設置した後も周辺の道路や農地等からの土砂の流入は続くと考えられることから、水路内の土砂の堆積による流下能力の減少が起こる可能性がある。一方で、水路内に堆積した土砂は、今日の水路で見られるようにクウシンサイ等の自然植生の生育環境となっている。

これらの自然植生は、多くの国の水域において、ある程度の水質の浄化効果があるという報告があり、水路内における自然植生による浄化効果を試験的に検証することは、排水処理施設の導入とともにビエンチャン市での水質改善の実験的なアプローチとして、意味のあることと言える。

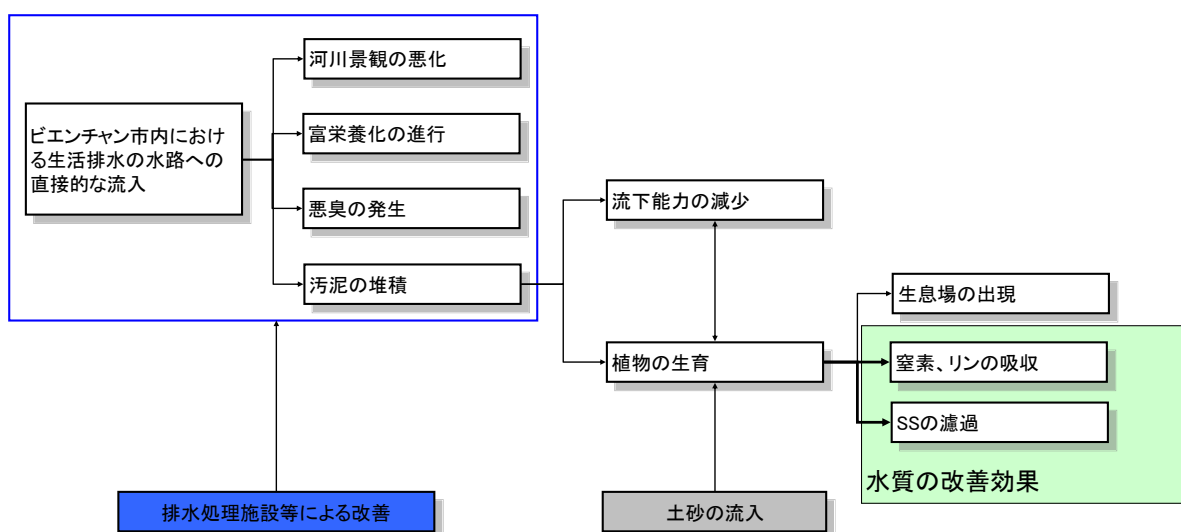


図 2.8.1 ビエンチャン市内の水路の現況

2.8.2 目的

植生による主な水質の浄化効果としては次の効果が知られている。

- 沈殿・濾過効果の促進による浮遊物質(SS)の減少
- 植物体による栄養塩（溶解性のリン（P）、窒素(N)）の吸収
- 植生に付着する微生物による有機物の分解

通常、植生による水質浄化効果を検証するには、人工的な植生工を伴う長期のモニタリングが必要である。しかし、植生工を継続的に適切に管理できなければ、この植生工が水路の自然な流下

または環境に悪影響を及ぼしかねない。このような適切な管理には水路沿いの住民の理解と協力が不可欠であるが、このような調査対象地域での管理は、現状では非常に困難と言わざるを得ない。

このようなことから、この検証は植生工を用いず、簡易な方法で実施することとした。この検証では、次のような目的で現地調査と実験を行った。

- ビエンチャン市内の水路に自生する植物の中で、特にクウシンサイによる水質浄化効果を実際の水路の河川区間で、定量的に試験的に検証する。
- ビエンチャン市内の水路に自生する植物の中で、特にクウシンサイによる水質の浄化機構を把握する。

上記の浄化効果の検証は以下の3つのコンポーネントに分けられる。

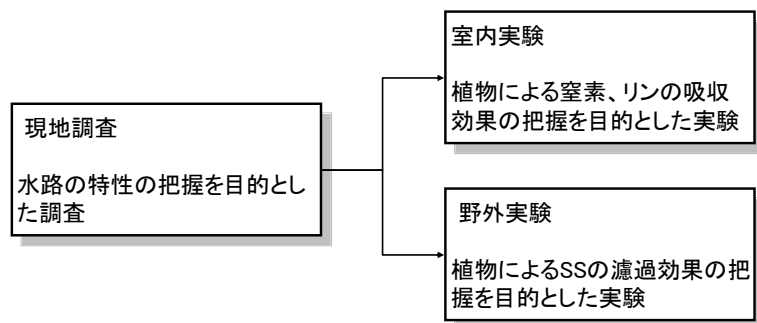


図 2.8.2 浄化効果検証の3つのコンポーネント

2.8.3 現地調査

(1) 調査地域

2009年6月にこのJICA調査の中で実施された縦断同時モニタリング調査の結果、Hong Pasak水路では、下流側の調査地点（LB8）のBODが上流側の調査地点（LB7）に比べ、明確に減少したことが確認された。

この調査結果を踏まえ、浄化効果の検証のための調査範囲を、Hong Pasak水路の最上流点から、Hong Xeng水路との合流点までとした。また、概ね500m間隔で水質の調査地点を設定した(図2.8.3)。

(2) 調査項目及び調査時期

水質の分析項目は、水温、pH、EC、濁度、DO、TDS、ORPとした。これらの項目の水質測定は、BODが減少することに寄与している要因を把握するために、2009年の6月28日と7月8日、さらに、2010年の7月28日に、現地で簡易水質計による計測を行った。これらの項目は、調査団員自身が、マルチ水質チェッカー（簡易水質計）を用い測定した値を分析値とした。



(3) 現地調査による主な結果

(a) 植生の状況

この現地調査によれば、現況の植生のほとんどはクウシンサイ (*Ipomoea aquatica* Forssk) とツルノゲイトウ (*Alternanthera sessilis* (L.) DC.) であり、いずれも汚泥が堆積した土壌の上に生育している様子が確認された。植生の生育状況は地点間で若干の違いが見られた（多く生育している区間とやや植生が少ない区間）が、生育している種については大きな違いは見られなかった。写真 2.8.1 に、クウシンサイとツルノゲイトウの現地写真を示す。



写真 2.8.1 クウシンサイとツルノゲイトウの現地写真

(b) 水質の状況

この調査の水質測定の結果は以下の通りであった。

- 上流端から H.P.4 までの区間では、水路の流量が増大しているが、これは排水の流入によると考えられる。
- H.P.3 から H.P.6 までの区間では、濁度は減少しているため、浮遊物質(SS)も減少したと考えられる(定期水質モニタリングの結果では、濁度と SS は高い相関を示している)。
- H.P.4 から H.P.6 までの区間では、溶存酸素 (DO) は増加しており、これは藻類の光合成の影響によるものと考えられる。なお、DO の上昇が見られない区間については、腐泥が堆積しており、藻類が付着する為の基盤としては適さない可能性がある。また、濁度が高く、光合成に必要な日光が十分に供給されていない可能性もある。
- H.P.1 から H.P.6 までの区間では、2009 年と 2010 年の水質調査の結果に大きな違いは見られなかった。

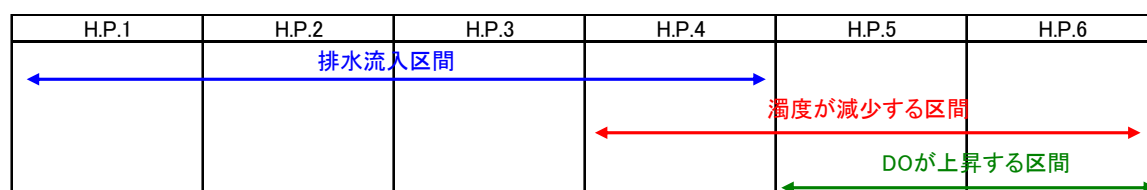


図 2.8.4 水質から見た Hong Pasak 水路の主な特徴

2.8.4 室内実験

(1) 室内実験の目的

本実験はクウシンサイによる窒素、リン吸収による基本的な水質浄化効果を室内の実験により定量的に確認することを目的とした。実験は2010年7月30日から8月8日にかけて行った。

なお、窒素、リンの除去効果の確認については、現地の水路における様々な影響を取り除くため、実験は室内の閉鎖系で行った。また、雨による影響を考慮しつつ、植物の生育に必要な日光が入る室内の窓際で行うこととした。

(2) 実験項目（事前調査及び本調査）

水質の調査項目は、BOD、 NH_4 、 NO_2 、 NO_3 、 PO_4 、水温、気温、湿度、pH、EC、濁度、DO、TDS、ORP、湿重量とした。BOD以外の項目は、調査団員が、マルチ水質チェッカー（簡易水質計）を用い測定した値を分析値とした。BODについては、調査団員が採水し、分析はタイの分析所に依頼して実施した。

(3) 実験方法

実験は事前調査及び本調査の2項目に分けて行った。事前調査では、窒素及びリンの吸収効果の確認のためには、どの程度の量のクウシンサイでどの程度の期間設置する必要があるのかを把握することを目的とした。また、植物の根の有無による違いについても確認した。本調査では、事前調査の結果を踏まえ、クウシンサイによる窒素、リンの定量的な除去効果を確認することを目的とした。事前調査及び本調査共に、ビエンチャン市内より採集されたクウシンサイを直径約50cmの容器に5本浮かせ、浮かせる前と後の水質の変化の把握により窒素、リンの除去効果を確認した。

サンプルは排水にクウシンサイを浮かべた試料、及び排水のみ（コントロール）の2種を用意し、窒素、リンの変化による除去効果を比較した（写真2.8.2）。

なお、実験に使用する水は、Hong Pasak 水路の H.P.5 地点より採集した排水を用いた。



写真 2.8.2 室内実験状況

2.8.5 室内実験による主な結果

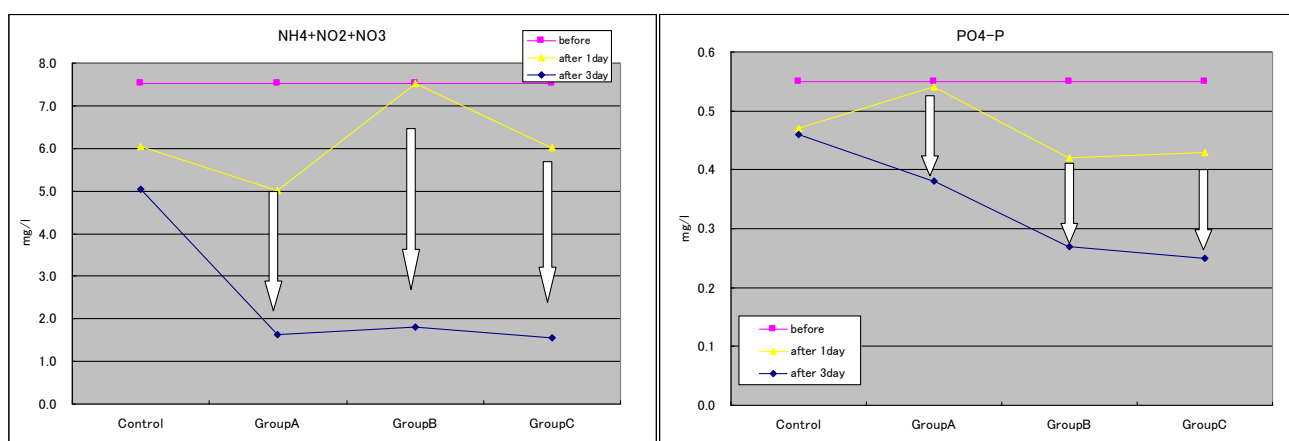
室内実験において得られた結果は、次のとおりである。

(1) 事前調査

- クウシンサイ（根有）のサンプルの水質は、コントロール及びクウシンサイ（根無）に比べ、無機態窒素、リンが低い値を示した。湿重量は3日間の間上昇し続けた。
- クウシンサイ（根無）のサンプルの水質は、コントロールに比べ、窒素、リンが低い値を示した。湿重量は1日目以降に上昇しており、新たに根が生えるまでに時間が必要であったためと考えられる。
- クウシンサイ（根有）のサンプルの水質は、クウシンサイ（根無）に比べ、窒素、リンが低い値を示した。クウシンサイは根有と根無によって、窒素もリンも吸収率に差異があったと言える。
- 本実験より、クウシンサイは水中の窒素及びリンを吸収することが確認された。
- 5本のクウシンサイは水質の変化を見るのに十分な量であることが確認された。
- 3日間で安定した結果を得るためには、根が無いものよりも根が有るクウシンサイを用いることが望ましいと考えられた。

(2) 本調査

- 1日後から3日後の2日間(48時間)では、約5本程度のクウシンサイをランダムにまとめた約100g ずつの3つのサンプル（グループ）は、無機態窒素($\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ 及び $\text{NH}_4\text{-N}$ の合計)で 3~5mg/l 程度、リン($\text{PO}_4\text{-P}$)で 0.15mg/l 程度の吸収効果があることが確認された（図 2.8.5 参照）。
- 3つのグループの間で吸収効果の差異がありその原因は不明だが、3つのグループすべてについて、窒素、リンとも3日後が、より吸収効果が高いことが確認された。
- クウシンサイを加えたサンプルでは 48 時間で 2~3 mg/l 程度の BOD の減少が確認された。また、変化の傾向は無機態窒素の減少と類似していた。
- この調査結果から、水路内のクウシンサイは水中の窒素及びリンの除去に寄与していることが確認され、リンよりも窒素の除去効果が高いことが確認された。



注：上記のグループ A, グループ B, グループ C は、自生していた別々のクウシンサイの茎を 5 本ずつ排水に浮かべたサンプル名。「コントロール」は排水のみのサンプル名。

図 2.8.5 本調査の実験結果(無機態窒素・リン)

2.8.6 野外実験

(1) 野外実験の目的

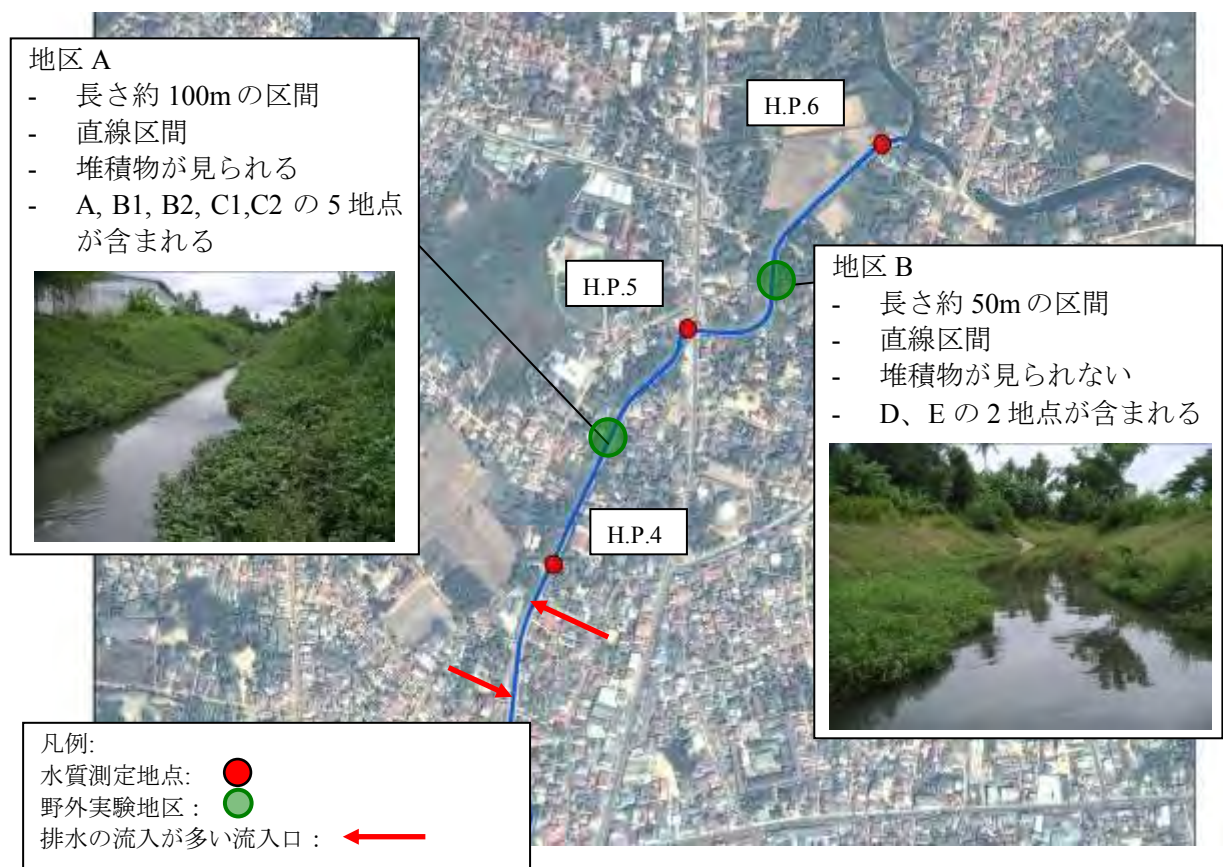
本実験はクウシンサイによる定量的な SS の沈殿・濾過効果を野外の実験により確認することを目的とした。実験は2010年8月2日から8月6日までの5日間にかけて行った。

実験調査地区は、現地調査結果に基づく水質の状況及びクウシンサイの繁茂状況を踏まえ、以下の理由より Hon Pasak の下流側で2地区を選定した(図 2.8.6)。

- ・ クウシンサイが広範囲にわたって水面上に繁茂していること
- ・ 水路への排水の流入が比較的少ない区間であること
- ・ 直線的な形状の水路であり、水路の形状による影響が少ないと考えられること

(2) 実験項目

水質の調査項目は、BOD、SS、NH₄、NO₂、NO₃、PO₄、水温、pH、EC、濁度、DO、TDS、ORP、流速、水深、植生帯の面積とした。水質は 2.8.4 の (2) に記載した分析方法と同じ要領で実施した。流速、水深、植生帯の面積はそれぞれ簡易流速計、測深棒、巻尺で測定した。



(3) 実験方法

クウシンサイ等が生育する水路のそれぞれの調査地区の流入地点と流出地点の各 2 地点で、刈取りの前後で SS 等の水質項目を測定した。（調査地区 B については、堆積物の有無による違いを比較するため、刈取りを行わないこととした。）調査地点のイメージを写真 2.8.3 に示す。

また、各調査地点の断面で水深、流速を測定し、流量を算出するとともに、刈取った植生帯の面積を記録した。各調査地点及び刈取り箇所を図 2.8.7 に示す。



写真 2.8.3 野外調査地点のイメージ

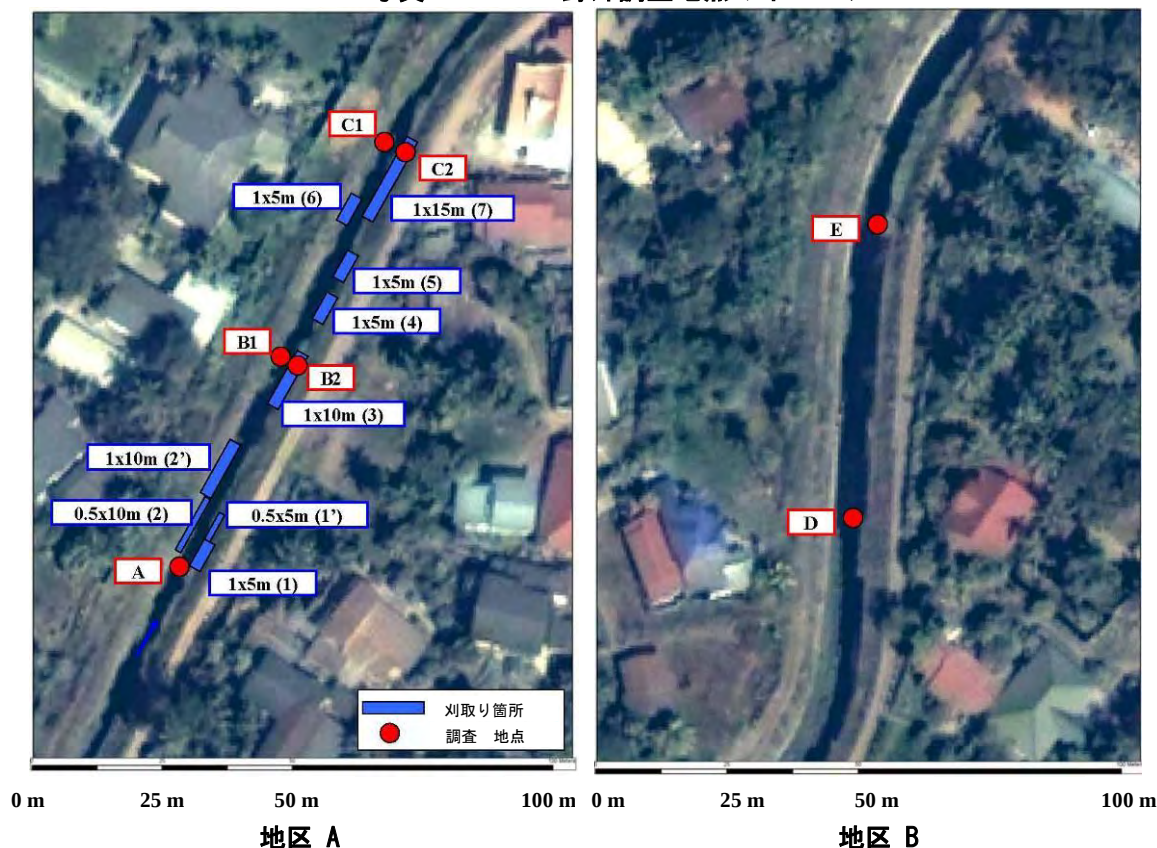
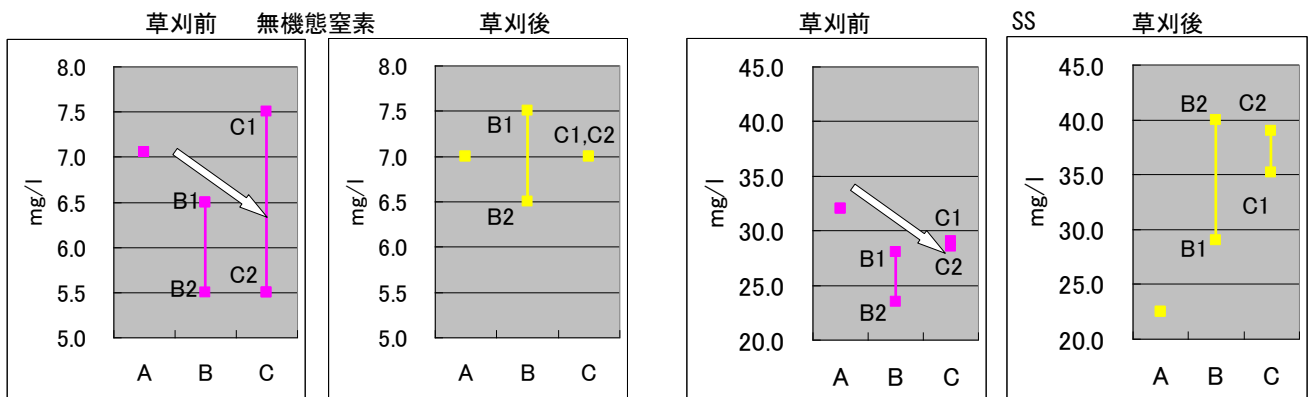


図 2.8.7 野外調査地点及び植生の刈取り状況

2.8.7 野外実験による主な結果

野外実験において得られた主要な結果は、次のとおりである。

- 植生の草刈前後で水路の水質を比較すると、植生の存在により無機態窒素が減少することが確認された。草刈前では、A 地点から B1 地点間で 0.5 mg/l の減少が確認されたほか、A 地点から C 地点にかけて、減少傾向がみられた。また、草刈後では A 地点から B1 地点間で無機態窒素が上昇しており、減少傾向はみられなかった（図 2.8.8 参照）。
- 植生の草刈前後で水路の水質を比較すると、植生の存在により SS が減少することが確認された。草刈前では、A 地点から B1 地点間で 4.0 mg/l の減少が確認され、A 地点から C 地点にかけて減少傾向がみられた。また、草刈後では A 地点から C 地点間で SS が上昇しており、減少傾向はみられなかった（図 2.8.8 参照）。
- 植生の草刈の前後で流速を比較すると、植生の存在により流速が減少することが確認された。草刈前の流速に比べ草刈後の方が B2 地点で 15cm/s （図 2.8.9 参照）、C2 地点でも、同程度上昇していることが確認された。
- 草刈前の B1 及び B2 地点における、植生の有無の違いを見ると、植生帯の中の水質(B2)は、外の水質(B1)に比べ、無機態窒素、SS、BOD の値が低いことが確認された。
- 植生の草刈前後で水路の水質を比較すると、リンについては明確な傾向がみられなかった。水路内のリンの量は BOD や SS、無機態窒素に比べ比較的少量であったため変化が見えにくかった可能性がある。
- D、E 地点で比較すると無機態窒素、SS、BOD 共に明確な傾向は見られなかった。



注： 上記の A, B, C は図 2.8.7 の A 地区での縦断位置の地点を表している。

図 2.8.8 野外実験結果（無機態窒素，SS）

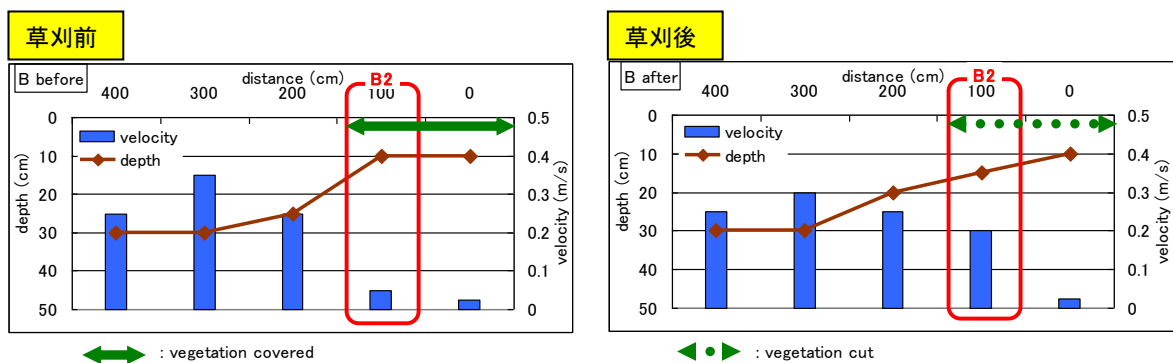


図 2.8.9 野外実験結果（流速、水深）

2.8.8 考察

(1) Hong Pasak 水路における BOD の減少量の定量的な試算

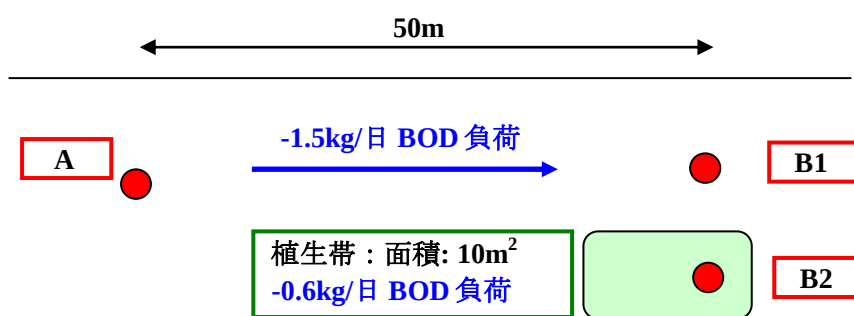
上記の実験結果を踏まえ、BOD の減少量は以下のように試算できる。

- 植生の刈取り前で水路の水質を比較すると、A 地点から B1 地点の 50m 間における BOD 負荷量の減少量は 169.1 kg/日 - 167.6 kg/日より、1.5kg/日となる。（表 2.8.1 参照）
- 植生の刈取り前で水路の水質を比較すると、B1 地点と B2 地点間の差分より、植生の面積あたりの BOD 減少量は、50m 間で 1.8kg/日となる。算出方法を以下に示す。
 - i) B2 地点の植生帯を独立した空間と仮定し、植生帯内の流量を以下の通り算出した。
 $0.005 \text{ m}^3/\text{s} (Q) = 0.1\text{m (水深)} \times 1\text{m (植生帯の幅)} \times 0.05\text{m/s (植生帯内の平均流速)}$
 これらの数値は野外実験の際に計測された数値を用いた。
 - ii) 1 日に植生帯 1m^2 が処理する水量を以下のとおり算出した。
 $43.2 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{日} = 0.005 \text{ m}^3/\text{s} (Q) / 10\text{m}^2 (\text{面積}) \times 60 (\text{秒}) \times 60 (\text{分}) \times 24 (\text{時間})$
 - iii) 植生帯 1m^2 により除去される BOD の量を以下のとおり算出した。
 $60.5\text{g}/\text{m}^2/\text{日} = (43.2 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{日} \times ((\text{B1 地点の BOD} - \text{B2 地点の BOD} = 1.4\text{g}/\text{m}^3)))$
 - iv) A 地点から B1 地点間の植生帯の面積は、野外実験により概ね 30m^2 と計測した。
 - v) 上記より、BOD の減少量は $1.8\text{kg}/\text{日} (60.5\text{g}/\text{m}^2/\text{日} \times 30 \text{ m}^2)$ と算出した。

表 2.8.1 A、B1、B2 地点における流量、BOD 濃度及び BOD 負荷量

項目	A 地点	B1 地点	B2 地点
Q (m^3/s)	0.2	0.2	-
BOD (mg/l)	10.3	9.7	8.3
BOD load (kg/日)	169.1	167.6	-

注：これらの数値は野外実験結果から得られた数値を用いた。



注：上記の $0.6 \text{ kg}/\text{日}$ BOD の減少は $1.8 \text{ kg}/\text{日} \times 10\text{m}^2 / 30 \text{ m}^2$ より算出した。

図 2.8.10 A 地点及び B 地点間における BOD 負荷量の減少イメージ

Hong Pasak 水路における BOD 負荷量の減少率の試算

2009 年 6 月の本 JICA 調査の縦断モニタリング水質調査の LB7 地点（BOD 値： $37.6\text{mg}/\text{l}$ 、流量： $0.02\text{m}^3/\text{s}$ ）と LB8 地点（BOD 値： $10.1\text{mg}/\text{l}$ 、流量： $0.07\text{m}^3/\text{s}$ ）の結果から、Hong Pasak 内における調査地点 LB7、LB8 の 2km 間の減少量は $166.4\text{kg}/\text{d}$ と推定される。この減少量は、両地点の BOD 負荷量を算定し、LB7 地点の負荷量を両者の流量比 ($0.07/0.02$) で補正して算出したものである。LB7 地点は本実験における調査地点 HP.2 と同様であり LB8 地点は本実験における調査地点 HP6 と同様である。

本実験結果を踏まえると、植生帯による浄化効果は、距離で換算すると約 60kg/日 (1.5kg/日 × 2,000m / 50m) と計算され、減少量は概ね 36% (60kg/日 / 166.4kg/d × 100) と考えられる。また、植生帯の面積で換算すると約 72kg/d (1.8kg/日 × 2,000m / 50m) となり、減少量は概ね 43% (72kg/日 / 166.4kg/d × 100) となる。

(2) Hong Pasak 水路における SS の減少量の定量的な試算

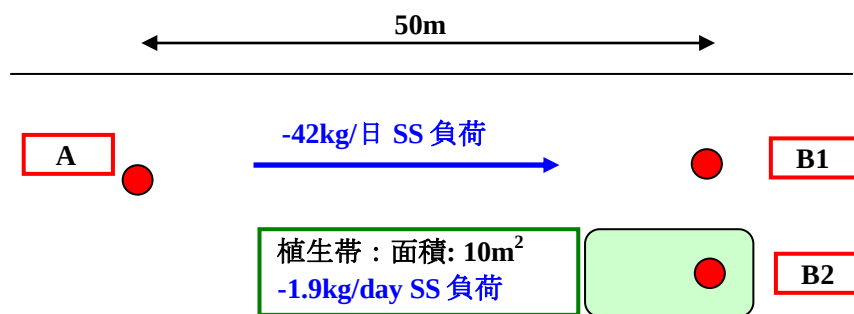
上記の実験結果を踏まえると、SSの減少量は以下のとおりに試算できる。

- 植生の刈取り前で水路の水質を比較すると、A 地点から B1 地点の 50m 間における SS 負荷量の減少量は 525.0 kg/日 - 483.0 kg/日 より、42kg/日 となる。(表 2.8.2 参照)
- 植生の刈取り前で水路の水質を比較すると、B1 地点と B2 地点間の差分より植生帯の面積あたりの SS 減少量は、50m 間で 5.8kg/日 となる。算出方法を以下に示す。
 - B2 地点の植生帯を独立した空間と仮定し、植生帯内の流量を算出した。(前項と同様)
 $0.005 \text{ m}^3/\text{s} (Q) = 0.1\text{m} (\text{水深}) \times 1\text{m} (\text{植生帯の幅}) \times 0.05\text{m/s} (\text{植生帯内の平均流速})$
 - 1 日に植生帯 1m² が処理する水量を以下のとおり算出した。(前項と同様)
 $43.2 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{日} = 0.005 \text{ m}^3/\text{s} (Q) / 10\text{m}^2 (\text{面積}) \times 60 (\text{秒}) \times 60 (\text{分}) \times 24 (\text{時間})$
 - 植生帯 1m² により除去される SS の量を以下のとおり算出した。
 $194.4\text{g}/\text{m}^2/\text{日} = (43.2 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{日}) \times ((\text{B1 地点の SS} - \text{B2 地点の SS} = 4.5\text{g}/\text{m}^3))$
 - A 地点から B1 地点間の植生帯の面積は、野外実験により概ね 30m² と計測した。
 - 上記より、SS の減少量は 5.8kg/日 (194.4g/m²/日 × 30 m²) と算出した。

表 2.8.2 A、B1、B2 地点における流量、SS 濃度及び SS 負荷量

項目	A 地点	B1 地点	B2 地点
Q (m ³ /s)	0.2	0.2	
SS (mg/l)	32.0	28.0	23.5
SS load (kg/日)	525.0	483.0	-

注：これらの数値は野外実験結果から得られた数値を用いた。



注：上記の 1.9 kg/日 BOD の減少は 5.8 kg/日 × 10m² / 30 m² より算出した。

図 2.8.11 A 地点及び B 地点間における SS 負荷量の減少イメージ

(3) Hong Pasak 水路における無機態窒素の減少量の定量的な試算

上記の実験結果を踏まえると、無機態窒素の減少量は以下のとおりに試算できる。

- 室内実験より、約 100g のクウシンサイは 48 時間で、3 ~ 5 mg/l の無機態窒素 (NO₂-N、NO₃-N 及び NH₄-N) を吸収する事が確認された。

- この結果を現地の水路に当てはめると、10 m² の植生帯を通過した場合（滞留時間約 200 秒）では概ね 1mg/l ~2mg/l の無機態窒素が減少すると考えられる。算出方法を以下に示す。
 - i) B2 地点の植生帯を独立した空間と仮定し、植生帯内における滞留時間を算出した。
 $200 \text{ 秒} = 0.1\text{m (水深)} \times 1\text{m (植生帯の幅)} \times 10\text{m (植生帯の長さ)} / 0.005 \text{ m}^3/\text{s}$
 これらの数値は野外実験の際に計測された数値及び前項で算出された値を用いた。
 - ii) 植生帯内における 0.25 m²あたりのクウシンサイの湿重量を 822g/0.25m²と算出した。
 この値は、Hong Pasak 水路の調査地点 A 付近に生育するクウシンサイの植生帯 0.25m²の湿重量を 3 地点で計測した値の平均値である。
 - iii) 10m²の植生帯により吸収される無機態窒素の量を以下の通り算出した。
 $1 \sim 2\text{mg/l} / 10\text{m}^2$
 $= 3 \sim 5\text{mg/l} \times (200 \text{ 秒} / 48 \text{ 時間} \times 60 \text{ 分} \times 60 \text{ 秒}) \times 822\text{g} / 100\text{g} \times 10\text{m}^2 / 0.25\text{m}^2$
- この結果から、植物の吸収による無機態窒素の減少量は植生による SS の減少量と比べ、極めて少ない事が確認された。

(4) クウシンサイによる水質浄化メカニズムについての考察

野外実験等による検証の結果を踏まえると、クウシンサイによる水質浄化のメカニズムについて、以下のことが言える。

- 野外実験より、植生の存在により流速が減少し、それに伴う SS の減少が確認された。また、水生植物の根や茎に微生物が生育することで、微生物膜が作られることが報告されているが、この膜が SS を捕捉していることも考えられる。写真 2.8.4 では、クウシンサイの根の色が現地のものでは茶色がかっていたが、室内実験のものでは、白くなっていた。このことは根に SS が吸着されていた可能性を示唆していると考えられる。
- 野外実験より、植生により無機態窒素が減少していることが確認されたが、室内実験の結果を踏まえると、野外での吸収量は極めて少ないと考えられた。したがって、野外で無機態窒素が減少した原因は、懸濁性の有機物が減少したことによる可能性が高いと考えられる。また、この懸濁性の有機物の減少が BOD の減少に寄与していたものと考えられる。
- 前記の考察より、BOD の減少は主に懸濁性有機物の濾過・沈降によるものと考えられる。しかしながら、ある区間では BOD と SS の値に関係が見られない場合もあった。これは SS が無機物と有機物からなっており、細かい砂分等の流入があった場合などには SS のみが上昇するためと考えられる。



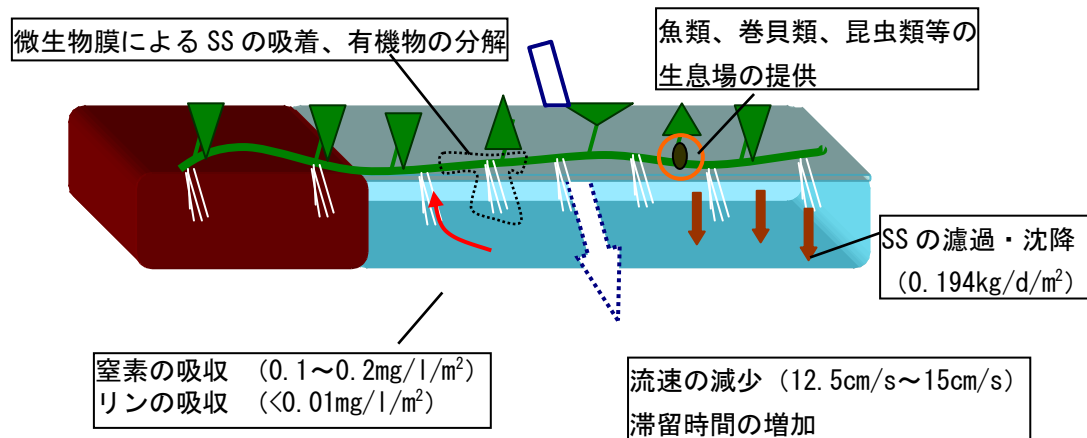
写真 2.8.4 クウシンサイの根の状況

2.8.9 クウシンサイを利用した水質浄化手法についての考察

(1) クウシンサイによる水質浄化効果について

これまでの検証実験及び調査結果より、水路内の水質はクウシンサイによる浄化効果により、ある程度まで改善されていることが確認された。本実験及び調査結果を整理すると、Hong Pasak水路の植生帯におけるクウシンサイによる水質の浄化効果は、主に懸濁性有機物を含むSSの減少に伴うBOD及び窒素の減少によるところが大きいと考えられる。

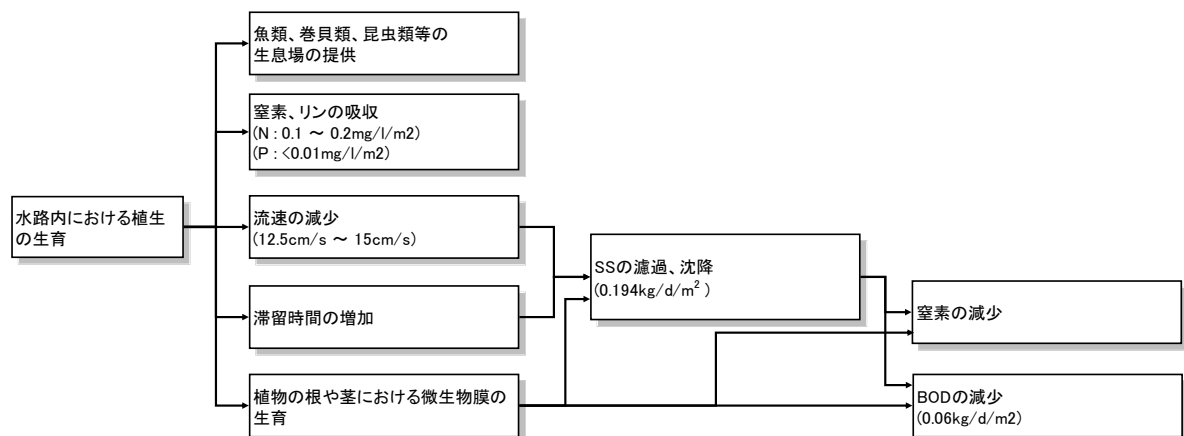
Hong Pasak水路における浄化のイメージ及びメカニズムを図2.8.12及び図2.8.13に示す。



注：上記の値は、この調査ならびに実験結果による試算値。

出典：河川環境管理財団河川総合研究所「植生浄化施設計画の技術資料[2007年版]」の図を調査団が修正

図 2.8.12 クウシンサイによる Hong Pasak 水路の水質浄化メカニズムのイメージ



注：上記の値は、この調査ならびに実験結果による試算値。

図 2.8.13 Hong Pasak 水路におけるクウシンサイによる浄化のメカニズム

(2) クウシンサイの水質浄化用植物としての適性

関連する知見とラオス国立大学の植物の専門家へのヒアリング結果を踏まえると、クウシンサイは以下の点で植生による水質浄化に適していると考えられる。

- クウシンサイは、通年枯れることなく成長するため、季節による浄化効果の変動が少ない。ただし、生育に水が必要である為、乾期に大きく成長する様子は見られていない。
- クウシンサイは、茎や葉などの植物体を水面上に浮かべて生育するため、雨期と乾期の水量の変化に対応できる。ツルノゲイトウ等の地面に根を張る植物は増水時に冠水し、枯れてしまう可能性がある。
- クウシンサイは、ラオスでは豚の餌または人間の食用に利用されていることから、植物の他の利用価値がある。

(3) クウシンサイによる生物の生息場の提供に関する考察

水路内に生育する植物は多くの水生生物の生息場となることが報告されている。例えば図2.8.14は護岸のタイプと魚類の生息数を比較したものであり、この結果から水際の植物は魚類の生息場として機能していることが伺える。

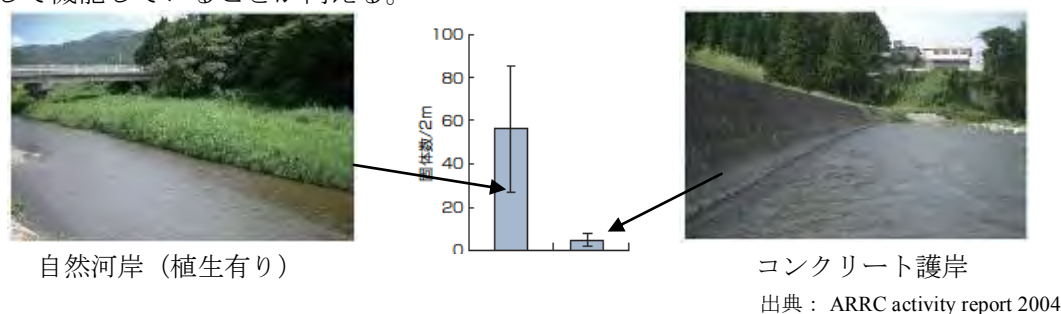
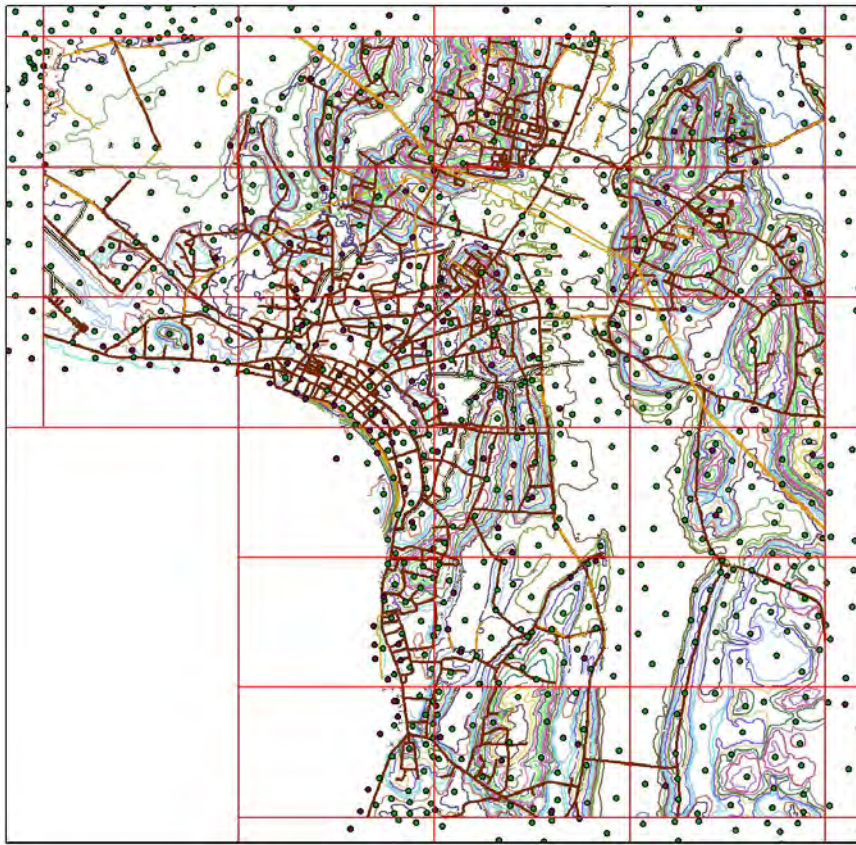


図 2.8.14 護岸のタイプと魚類の生息数の比較

また、Hong Pasak 水路でもクウシンサイに多くの巻貝が付着している事が確認されたほか、数種のトンボ類が水路内の植生帯内で飛行している事が確認されており、魚類や巻貝、トンボ類の生息環境として機能していると考えられる。

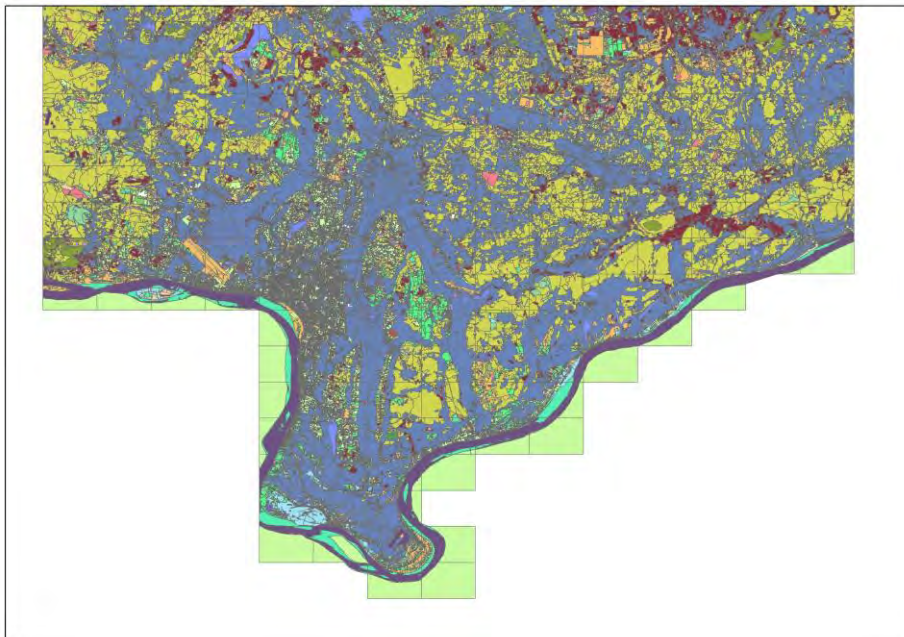


写真 2.8.5 巻貝類及びトンボ類の写真



Source: National Geographic Department

図 2.9.2 1:5000 地形図インデックスマップ



Source: National Geographic Department

図 2.9.3 1:5000 土地利用図インデックスマップ

(3) Hydrology 関連データ

Hydrology 関連データは本調査で新規作成したデータである。中には流域分布図データ、Mak Hiao 川につなぐ排水路データ、排水池（MARSH）データと排水の Catchment Area データが含まれている。いずれも、QuickBird 衛星画像と 5000 分の 1 地形図を背景にし、高精度のデータを新規に作成した。

(4) 河川現況調査データ

本調査で把握している Mak Hiao 河川現況データは GIS データベースに取り込んだ。河川環境、河川施設、河川生物調査、それに、河川水質調査のデータは写真集と CAD 図面と共に GIS データとリンクし、閲覧システムを作成した。

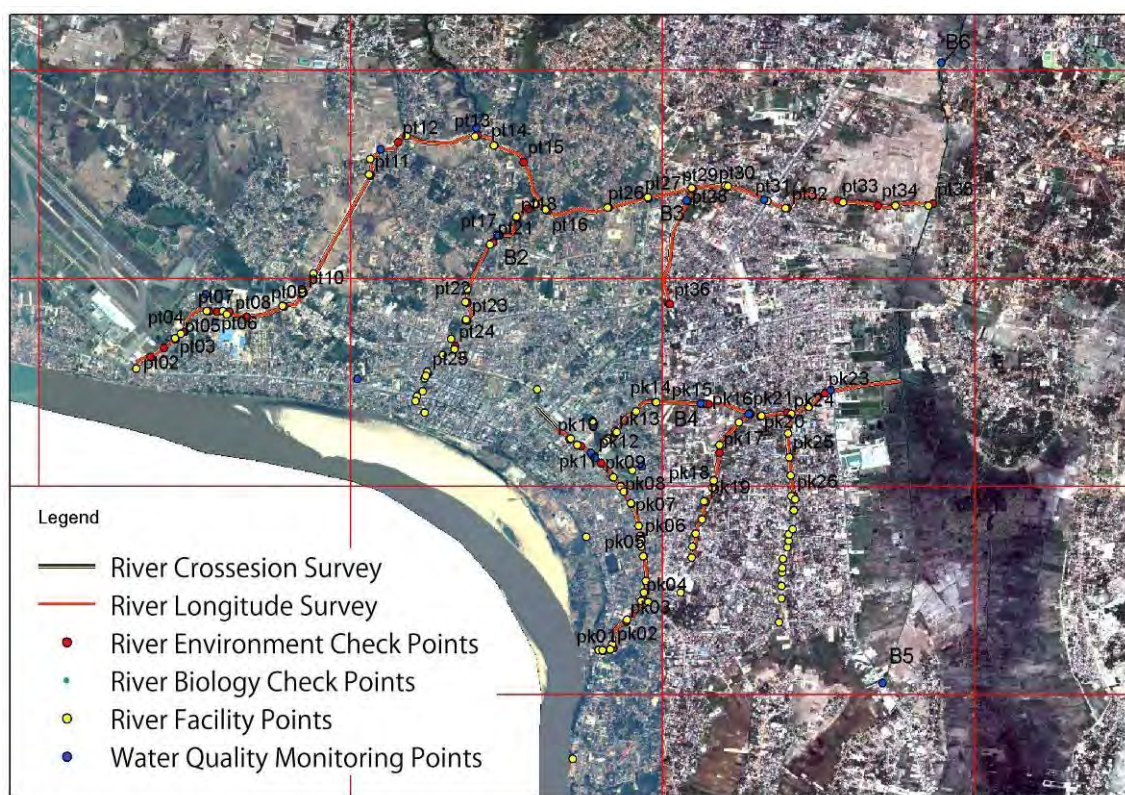


図 2.9.4 河川現況調査位置図

(5) 他のデータ

上記リストアップしたデータのほか、社会環境データとしての人口と行政データを GIS 行政界データにリンクした。また、自然環境データとしての森林保護区域などのデータも GIS データベースに取り込んだ。

2.9.2 GIS データベースの構築

(1) GIS 座標システムの統合

上記述べたGISデータは様々な機関から提供され、データの座標システムも様々である。従って、異なる座標システムのデータを重ね合わせるために、統一した座標システムに変換する必要がある。元のデータソースの座標システムは以下の表にリストアップされている。

表 2.9.1 データソースの座標システム一覧

データソース	座標系	投影法	UNIT	出典
QUICKBIRD 衛星画像	GEOGRAPHIC	WGS84	Decimal Degree	PTI
5 千分の 1 地形図データ	UTM 48N	LAO97	METER	国家地理局
人口統計データ	GEOGRAPHIC	North American 1927	Decimal Degree	国家統計局
流域分布図	GEOGRAPHIC	WGS84	Decimal Degree	JICA 調査団
現地調査データ	GEOGRAPHIC	WGS84	Decimal Degree	GPS
工業団地、NewTown など	不明	不明	Meter	PTI

上記の座標系を National Geographic Department の Laos 標準座標系に統一した。座標系の不明な CAD データは RUBERSHEETING などのツールを使って、マニュアルで座標を調整した。統一した GIS データベースの座標系のパラメータは以下になる。

表 2.9.2 基準座標システム : UTM_48N_LA097 のパラメータ表

プロジェクトパラメータ	Projection	Transverse Mercator
	False Easting	500000.000000
	False Northing	0.000000
	Central Meridian	105.000000
	Scale Factor	0.999600
	Latitude Of Origin	0.000000
	Linear Unit	Meter
投影法パラメータ	Datum Name	The Lao National Datum 1997
	Angular Unit	Degree (0.017453292519943299)
	Prime Meridian	Greenwich (0.000000000000000000)
	Spheroid	Krasovsky 1940
	Semimajor Axis	6378245.000000000000000000
	Semiminor Axis	6356863.018773047300000000
	Inverse Flattening	298.300000000000010000

(2) GIS データベース構造



図 2.9.5 GIS データベース構造

Huai_Makhiao_DB のフォルダにすべてのデータを収録した。DOCS_090201 フォルダには 2009 年 2 月（乾期）の調査で集めたドキュメントデータで、河川環境調査、生物調査などの写真、河川縦断横断測量の図面が含まれている。DOCS_090701 フォルダには 2009 年 6 月（雨期）の調査で集めた河川環境調査の写真などが含まれている。MAKHIAO_BASIN_UTM_LAO97 データベースには流域調査の GPS データ DOC_VIEW が含まれている。このデータは上記の DOCS フォルダの写真と図面にリンクし、地図上での検索が可能である。また、工業団地、NewTown、新規道路などの流域内の開発計画データが含まれる。さらに、調査団が作成した流域分割データ、河川ネットワークデータ、STATISTIC センターで集めた村人口などのデータが含まれる。NGD5K_UTM_LAO97 データベースには National Geographic Department から購入した 5,000 分の 1 地形図データと土地利用データが含まれる。QuickBird TIFF_DD_WGS84_Vientiane データベースには流域をカバーする QuickBird 衛星画像が含まれる。JICA_ANALYSIS データベースには本調査の GIS 解析結果を保存する。

DATA_VIEW ファイルは上記データベースを統合管理する ARCGIS の VIEWER である。

2.9.3 GIS 情報管理システムの作成

上記述べた GIS データベースを閲覧と管理するために、GIS 情報管理システムを作成した。システムの機能は以下に示す。

(1) 河川環境情報の管理

今回の調査で河川環境において Hong Xeng と Hong Ke の 2 つ主要な排水路の調査を実施し、その排水路沿線 62 の主要なポイントを位置データとともに写真データベースを作成した。これらの位置情報と写真データベースを GIS データベースに取り込み、背景の高解像度衛星画像とともに ARCGIS による管理システムを作成した。

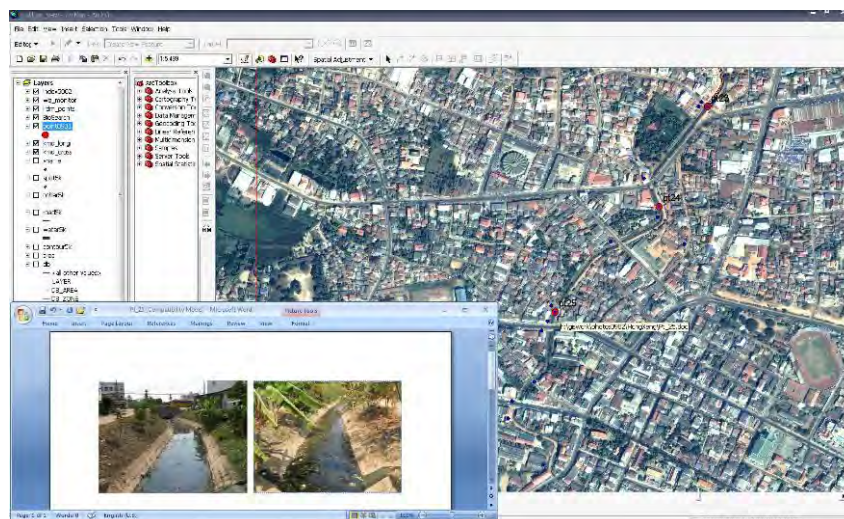


図 2.9.6 河川環境情報管理システム

操作方法：

1. ARCMAP ソフトウェアで Viewer を開くと、衛星画像を背景にした地図が表示される。その上に河川環境の位置を示すポイントデータが赤いシンボルで表示される。
2. マウスポイントで位置ポイントに移動すると、リンクされている写真ファイルの名前が表示される。
3. マウスクリックすると、写真ファイルが開かれる。

(2) 生物調査、水質調査の情報管理

本調査で 6 点の生物調査箇所と 14 点の水質調査箇所が選ばれた。それぞれの位置情報と調査状況を示す写真データとリンクし、GIS データベースに取り込んだ。操作イメージは（１）の河川環境情報管理と同様、位置ポイントをクリックすると、その点にリンクしている写真集が開かれる。

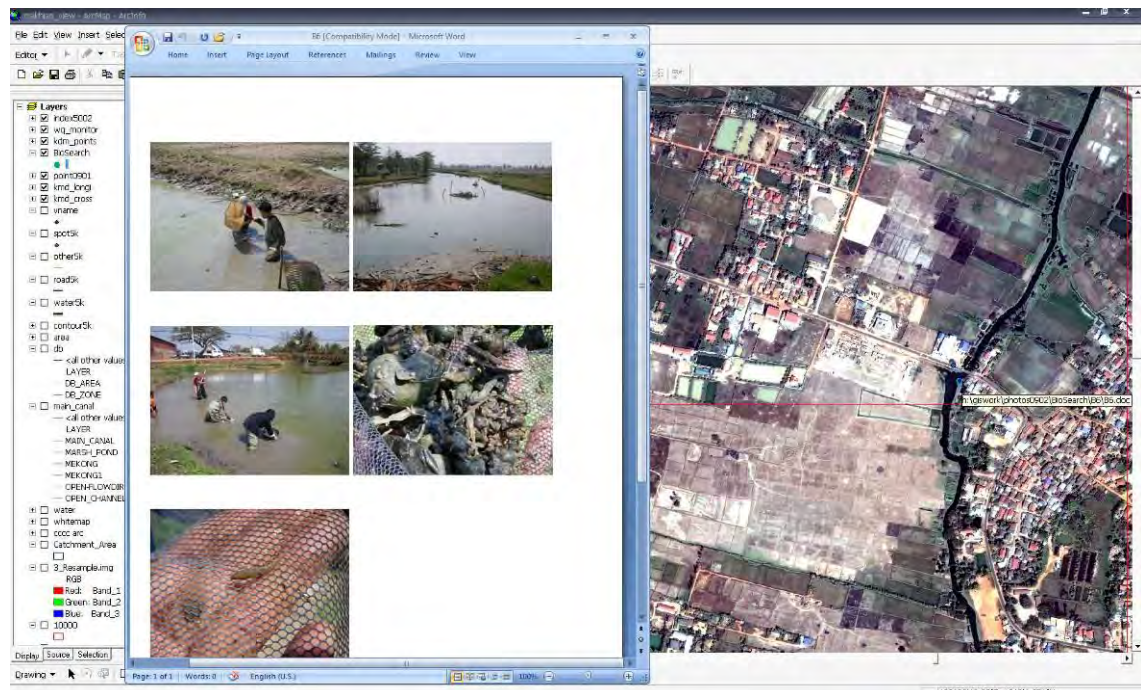


図 2.9.7 生物調査と水質調査情報管理システム

(3) 河川施設情報管理

本調査で合計 117 箇所の河川施設写真集、89 区間の河川縦断測量の図面と 139 区間の河川横断測量の図面を収集した。これらのデータも位置情報とリンクし、GIS データベースに取り込んだ。操作イメージは（１）の河川環境情報管理と同様、位置ポイントまたは区間ラインをクリックすると、その点にリンクしている写真集または設計図が開かれる。

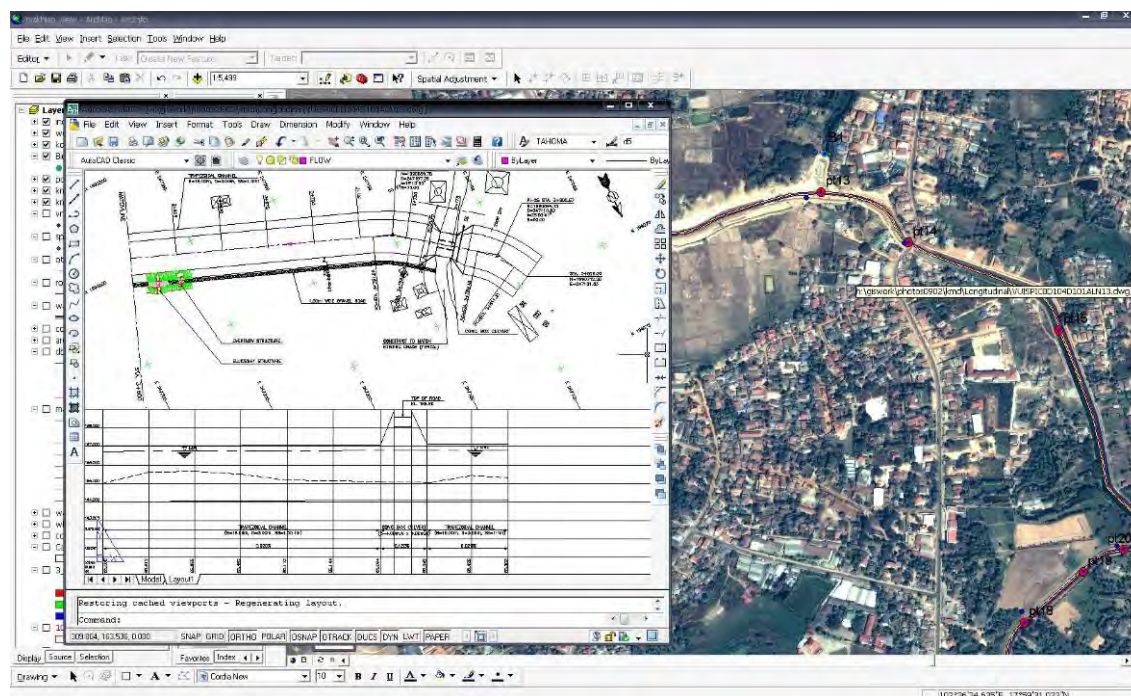


図 2.9.8 河川施設情報管理システム

2.9.4 GIS 空間分析への応用

(1) 基本データ

- 村レベルの人口統計データ

流域人口解析するために、1995 年と 2005 年の村レベルの人口統計データを使用した。このデータはラオス国家統計局から収集され、村コード、村名、1995 年と 2005 年の人口、それに、水供給タイプ、トイレタイプなどの項目から構成される。項目は以下の表に示す。

表 2.9.3 村レベルの統計データ項目

インデックス項目	Village Code, Village Name
2005 年の人口項目	House Holds, Male, Female, Total Populations
2005 年水供給タイプ	Pipe Water, Well Borehole Protected, Well Borehole Unprotected, River Stream Dam, Mountain Source, Rain Water, Other, Not Stated
2005 年トイレタイプ	Type0, Type1, Type2, Type3, Type4
1995 年の人口項目	House Holds, Male, Female, Total Populations
1995 年水供給タイプ	Pipe Water, Well Borehole Protected, Well Borehole Unprotected, River Stream Dam, Rain Water, Other
1995 年トイレタイプ	Modern Toilet, Normal Toilet, Soak Pit, Other, None

● 村境界 GIS データ

続いて、村境界の GIS データを使用した。このデータは PTI のプロジェクトによって 2009 年の衛星写真の上で測量したデータで、調査地域をカバーする。上述の村レベル人口統計データがこの村境界 GIS データにリンクし、村面積によって人口密度が算出された。

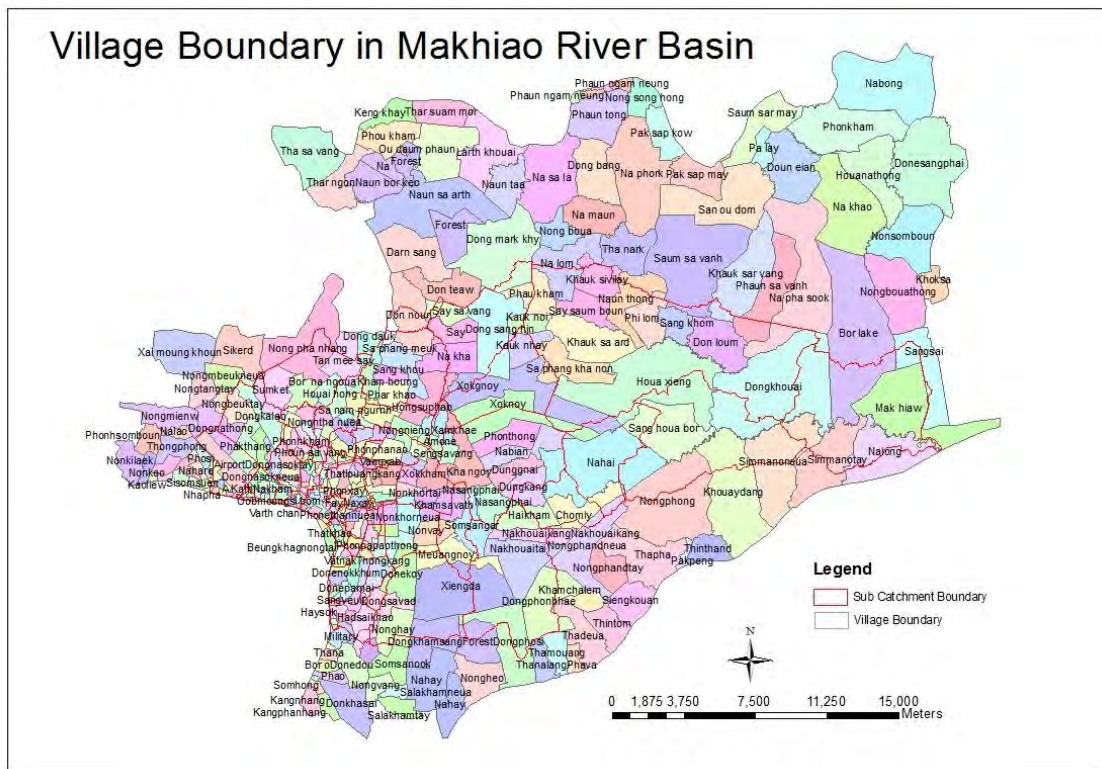


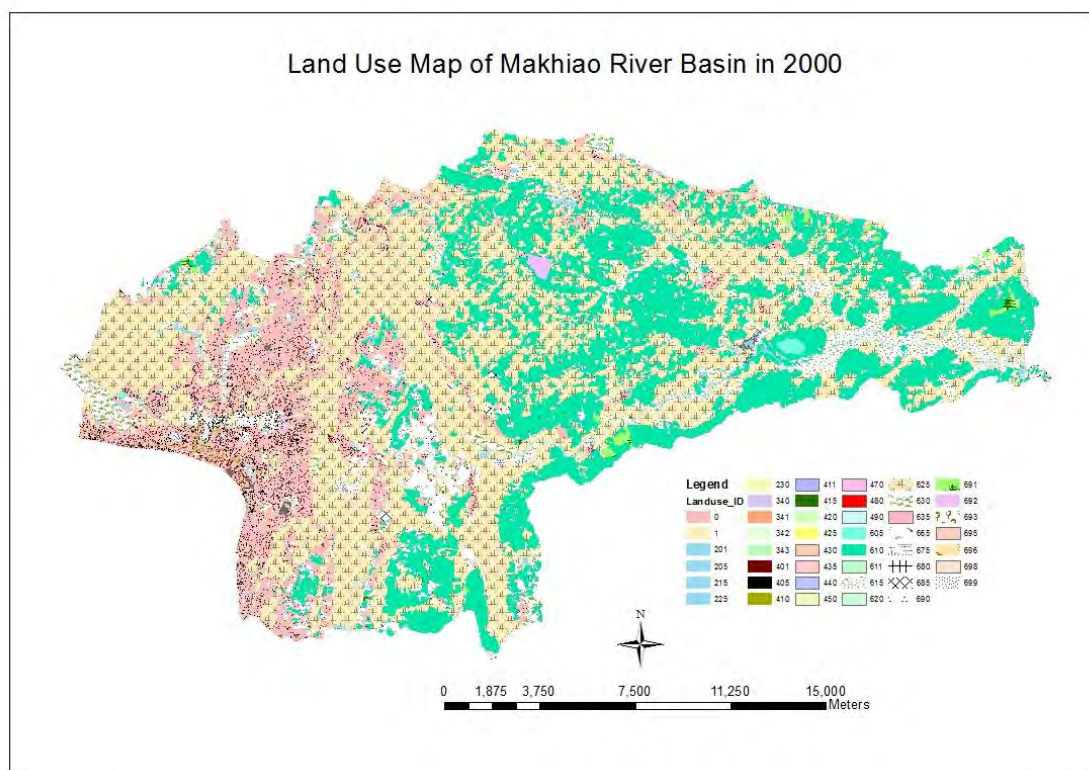
図 2.9.9 調査地域の村境界 GIS データ

(2) 流域の土地利用解析

● 2000 年の土地利用データ

2000 年の土地利用データは国家地理局から収集した。データソースはやや古い（2000 年）が、1 : 5,000 分の 1 の大縮尺であり、QuickBird 衛星画像によってアップデートも簡単であ

り、市街地以外の流域の土地利用は変わっていない。このデータを流域界でクリップした図面を以下に示す。



Source: National Geographic Department

図 2.9.10 Mak Hiao 川流域の 2000 年土地利用図

表 2.9.4 土地利用の項目表

土地利用 ID	項目説明	土地利用 ID	項目説明
0	Inner City	490	Christian Church
201	River, Stream	605	Dense Forest
205	Intermittent River or Stream	610	Sparse Forest
215	Water Canal(Width lt 10m)	615	Bush
225	Water, Pool, Pond	620	Bamboo
230	Basin, Swimming Pool	625	Rice Field
340	Road Edge (Paved)	630	Grass
401	Public/Office House	665	Orchard
405	Private House	675	Perennial Swamp
410	Commercial Building	680	Park
415	Industrial Building	685	Cemetery
420	School(University)	690	Other Plantation
425	Temple	691	Teak
435	Monument	692	Eucalyptus
440	Water Tower, Tank	693	Banana
450	Power Substation	696	Sugar
470	Gasoline	698	Papaya
480	Hospital	699	Sand

- 解析のための再分類

本調査において解析しやすくするために、土地利用 ID は大分類のクラス ID によって再分類された。

表 2.9.5 土地利用再分類表

土地利用ID	項目説明	クラスID	クラス説明
0	Inner City	1	Build Up Area
340	Road Edge (Paved)		
401	Public/Office House		
405	Private House		
410	Commercial Building		
415	Industrial Building		
420	School(University)		
425	Temple		
435	Monument		
440	Water Tower, Tank		
450	Power Substation		
470	Gasoline		
480	Hospital		
490	Christian Church		
201	River, Stream	2	River
205	Intermittent River or Stream		
215	Water Canal(Width lt 10m)		
225	Water Pool, Pond	3	Marsh
230	Basin, Swimming Pool		
675	Perennial Swamp		
605	Dense Forest	4	Forest
610	Sparse Forest		
615	Bush		
620	Bamboo	5	Rice Field
625	Rice Field	6	Natural Field
630	Grass		
665	Orchard		
699	Sand	7	Park
680	Park		
685	Cemetery		
690	Other Plantation	8	Farm Land
691	Teak		
692	Eucalyptus		
693	Banana		
696	Sugar		
698	Papaya		

- GIS オーバーレイによる流域土地利用解析

上記の再分類された土地利用データと既存の流域界データを用いて、GIS オーバーレイによる解析の結果、各々小流域の土地利用データが作られた。さらに、統計ツールを用いて、各々小流域の土地利用面積を算出した。

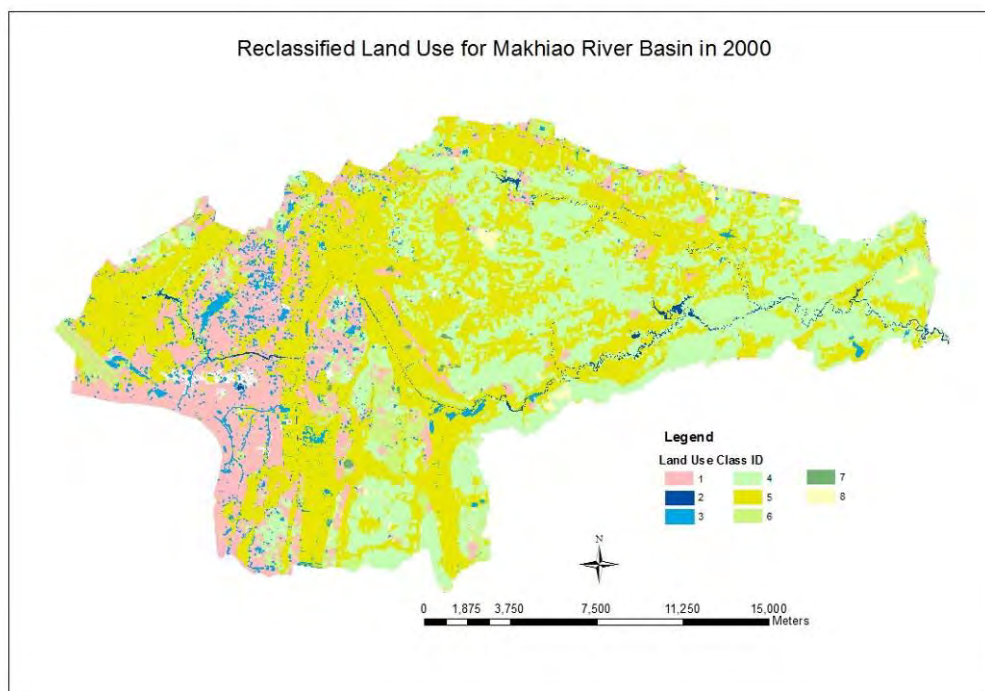


図 2.9.11 Mak Hiao 川流域の 2000 年土地利用分類図