

2.4 排水路網

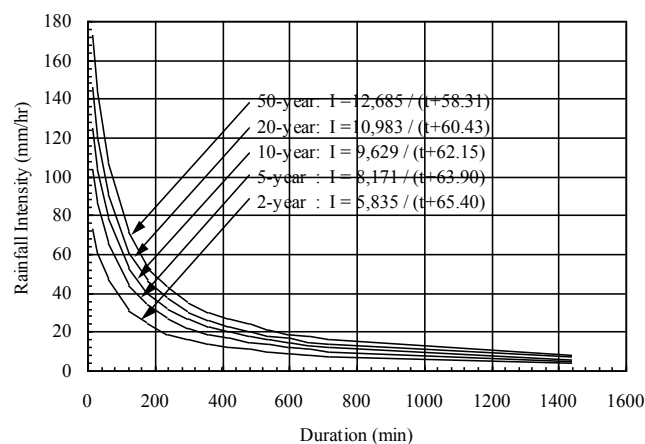
2.4.1 既往の調査・プロジェクト

ビエンチャン市の排水については、過去に様々な調査やプロジェクトが実施されている。市内の排水状況は、これら調査やプロジェクトの実施を通じて大幅に改善されてきている。主な既往調査ならびにプロジェクトについて以下に記述する。

(1) ビエンチャン排水網整備計画調査

1990 年、JICA により「ビエンチャン排水網整備計画調査」が実施された。同調査は、(i) ビエンチャン市街地（面積 56.2 km²）を対象とした洪水排水システムを改良する基本計画の策定と優先プロジェクトの選定、(ii) 選定された優先プロジェクトのフィージビリティスタディの実施、を目的とした。基本計画は、目標年を 2020 年として策定された。

同調査では、降雨解析結果を基に、タルボット型の確率降雨強度式が作成された（図 2.4.1 参照）。ここで作成された確率降雨強度式は他の排水プロジェクトにおいて計画流量の算定等に広く使用されている。

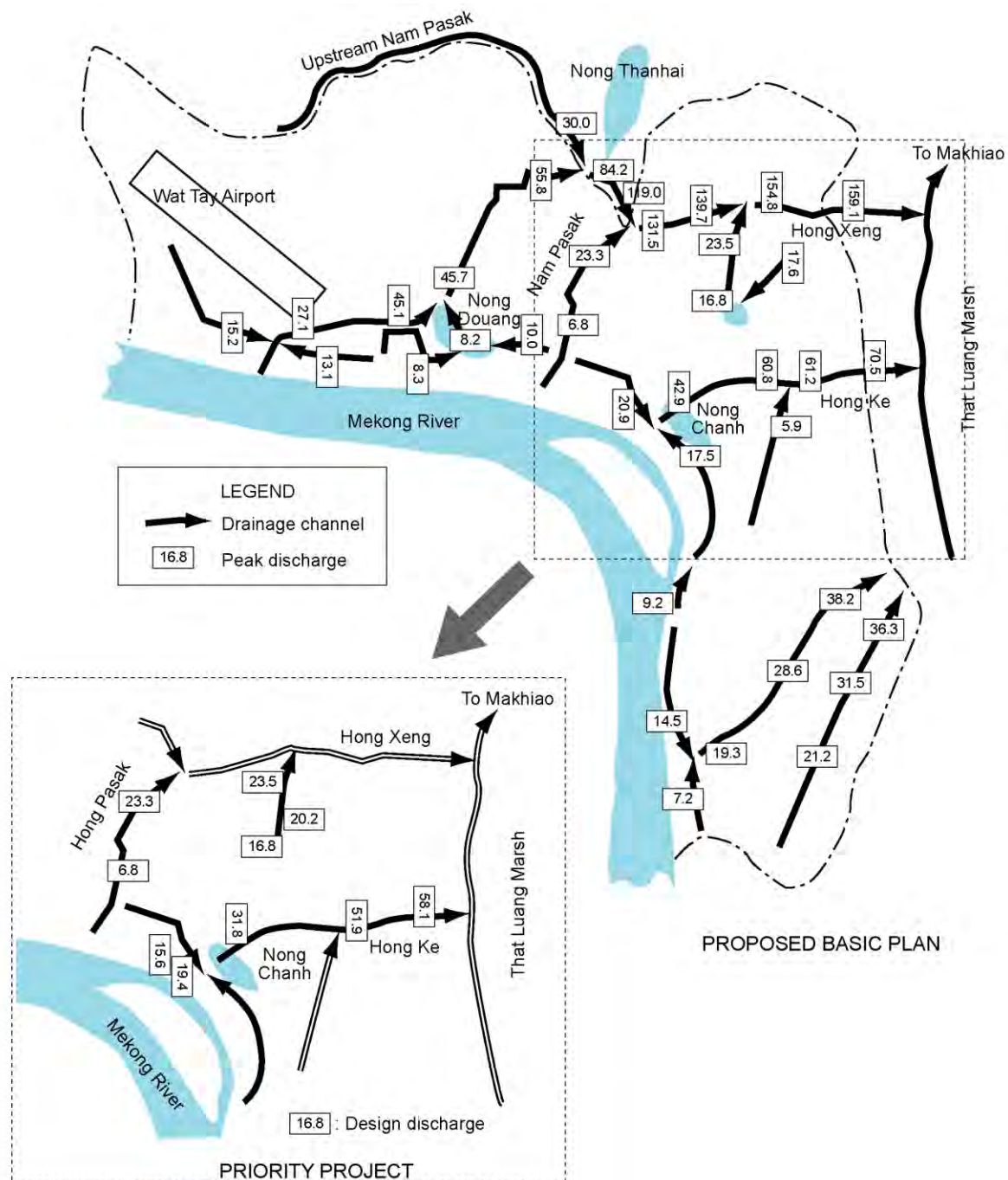


Source: Feasibility Study on Improvement of Drainage System in Vientiane, 1990. JICA

図 2.4.1 降雨強度曲線

基本計画の治水安全度は、B/C を指標とした比較検討結果より 10 年確率と決定された。計画降雨波形（10 年確率）は、1987 年 6 月 1 日に発生した降雨の実績降雨波形を基に作成された。基本計画は、7 つの代替案の比較検討の結果、図 2.4.2（上図）に示す計画が策定された。また、この基本計画の中から以下の優先プロジェクトが選定された（図 2.4.2（下図）参照）。

- Hong Ke システム：Hong Ke、Hong Thong、Hong Khoua Khao、Nong Chanh 湿地
- Hong Pasak（5 箇所の捷水路建設を含む）
- Hong Kai Keo（Nong Bone 湿地を含む）
- Hong Xeng 北側の枝線水路



Source: Feasibility Study on Improvement of Drainage System in Vientiane, 1990. JICA

図 2.4.2 基本計画と優先プロジェクト

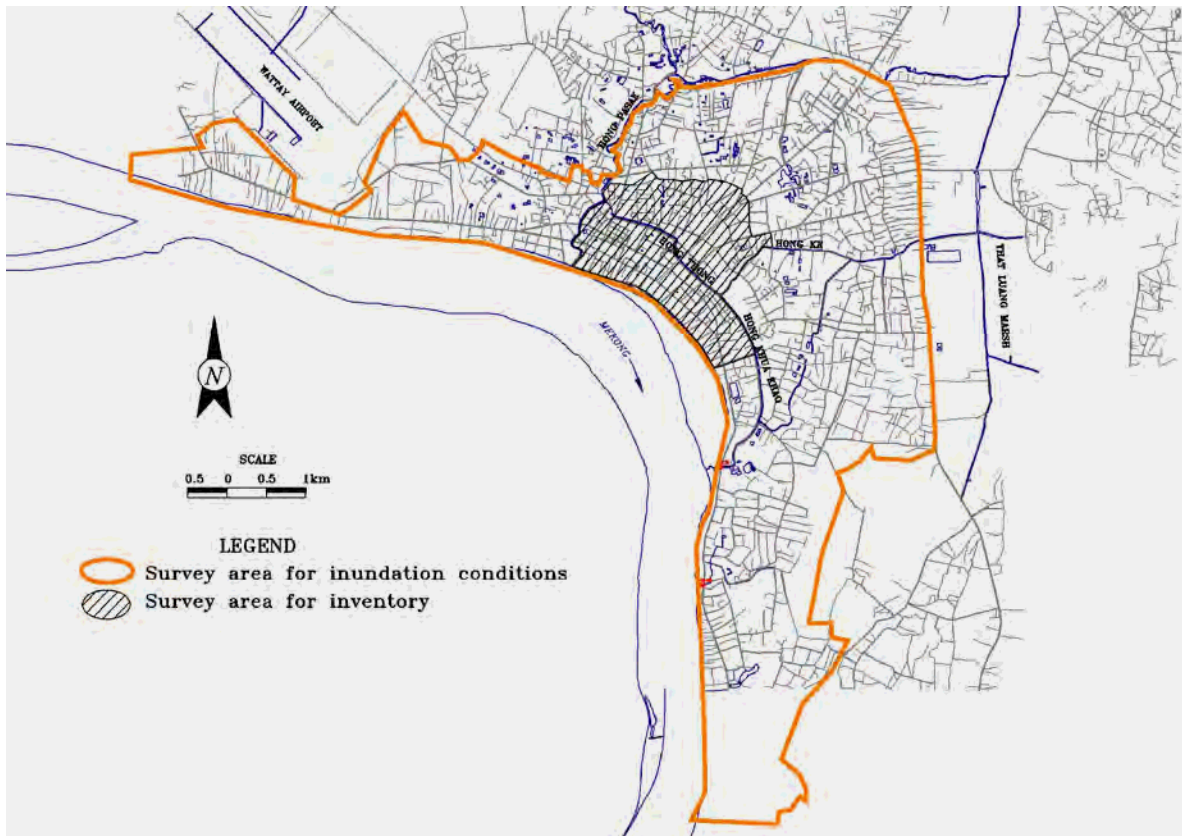
(2) ビエンチャン市道路・排水現況調査

2001 年から 2002 年にかけて JICA により「ビエンチャン市道路・排水現況調査」が実施された。同調査の目的は次のとおりであった。

- 既存排水路の現況を把握する。

- 排水路の維持管理や補修、改良に利用できるような既存排水路のデータベースを作成する。
- ビエンチャン市の既存排水路の問題点を分析する。

浸水状況調査はビエンチャン市街地の 27 km² を対象とし、また、データベース作成のための排水施設調査は中心部の 3.3 km² を対象とした（図 2.4.3 参照）。



Source: The Survey on Existing road and Drainage Condition in Vientiane Municipality, 2002. JICA

図 2.4.3 ビエンチャン市道路・排水現況調査対象地域

(3) Sihom 地区改善プロジェクト

1991 年 10 月から 1997 年 10 月まで実施された「Sihom 地区改善プロジェクト」の中で、MCTPC（現 MPWT）により Hong Pasak の上流 1.5 km 区間が改修された。事業費総額は、5.5 百万 US ドルであった。プロジェクトの目的は以下のとおりであった。

- 各種施設の修復・改良による Sihom 地区の生活環境の改善
- Hong Pasak（メコン河合流点～Hong Xeng 合流点間）沿いの生活排水、雨水排水の改善
- Ministry of Communication, Post, Transport and Construction (MCTPFC) と Institute for Technical Studies (ITSUP) の組織力・技術力に係る能力強化

(4) ビエンチャン市総合都市開発プロジェクト：VIUDP

都市施設と都市機能の改良・向上を通して、ビエンチャン市の都市環境の改善と都市部門の組織強化を図ることを目的に、「ビエンチャン市総合都市開発プロジェクト：VIUDP」が ADB の援助により実施された。プロジェクト期間は 1996 年～2001 年であり、プロジェクトは次の 4 つのパートから構成された。

- ・ パート A：環境改善（排水、ごみ処理管理、下水）
- ・ パート B：道路施設の改良
- ・ パート C：社会貢献活動
- ・ パート D：事業実施や組織強化に関するコンサルティングサービス

上のパート A の中で、表 2.4.1 に示す市内排水路が改修された。プロジェクト完了報告書によると、当初計画されていた Nong Chanh 湿地を貯水池として改修する案は、洪水低減効果が小さいとの理由によりキャンセルされた。

表 2.4.1 VIUDP の対象水路

Drainage Channel	Length (km)
Hong Ke	3.40
Hong Thong	1.75
Hong Khoua Khao	2.55
Hong Ouay Louay	1.80
Hong Phone Thanh	0.95
Hong Kai Keo	1.36
Hong Thong Sang Nang	1.31
Hong Pasak (Downstream)	1.68
Lateral & secondary drains	-

Source: ADB

(5) ビエンチャン都市施設・機能プロジェクト：VUISP

2001 年に ADB とラオス政府との間で「ビエンチャン都市施設・機能プロジェクト：VUISP」に関する借款協定の署名が交わされた。その後、VUDAA が実施機関となり、2002 年から 2006 年まで同プロジェクトが実施された。

プロジェクトは、ビエンチャン市街地における生活の質の改善と生産力向上、経済成長を目的とし、Saysetha、Sisathanak、Chanthabouly、Sikhottabong の 4 地区を対象とした。プロジェクトは以下の 3 つのパートから構成された。

- ・ パート A：ビエンチャン市の社会基盤施設と環境の改善
- ・ パート B：村落地域の改善
- ・ パート C：能力強化と事業実施支援

パート A には、道路・排水ネットワークの改良やゴミ処理、交通管理などが含まれており、その中で、表 2.4.2 に示す排水路が改修された。

表 2.4.2 VUISP の対象水路

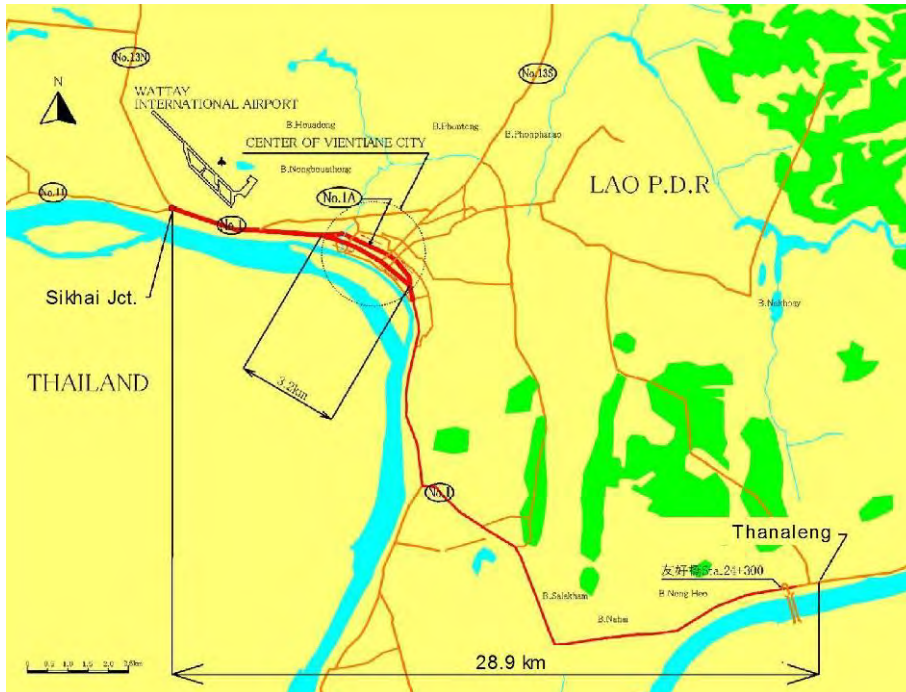
Drainage Channel	Length (km)
Hong Xeng	4.19
Hong Wattay (Upstream)	1.65
Hong Khaonhot-Simeung-Phapho	0.95
Hong Khoulouang	0.16
Hong Souanmon-Chimcheng-Khotninh	1.65
Hong Phonpapao	2.45
Hong Thongsangnang	0.50
Hong Ouaylouay	0.99
Hong Sisavath Kang	0.58
Hong Hongkha Tai	0.78

Source: ADB

(6) ビエンチャン 1 号線整備計画

2005 年から 2007 年にかけて JICA により「ビエンチャン 1 号線整備計画」が実施された。同プロジェクトの目的は、Wattay 空港に近い Sikhai 交差点から友好橋近くの Thanaleng までの国道 1 号線について、道路改修と排水改良を行い安全で円滑な交通を確保することであった。プロジェクトの実施機関は MCTPC（現 MPWT）の道路局であった。プロジェクト対象区間は図 2.4.4 に示すとおりである。また、道路排水区間は以下のとおりである。

- Sikhai 交差点 ～ Laksong 交差点 : 3.9 km
- Laksong 交差点 ～ Thatkao 交差点 : 6.5 km
- Thatkao 交差点 ～ Chinaimo 交差点 : 5.1 km
- Chinaimo 交差点 ～ Thanaleng 交差点 : 13.4 km



Source: The Project for the Improvement of the Vientiane Road No. 1, 2007. JICA

図 2.4.4 ビエンチャン1号線整備計画位置域

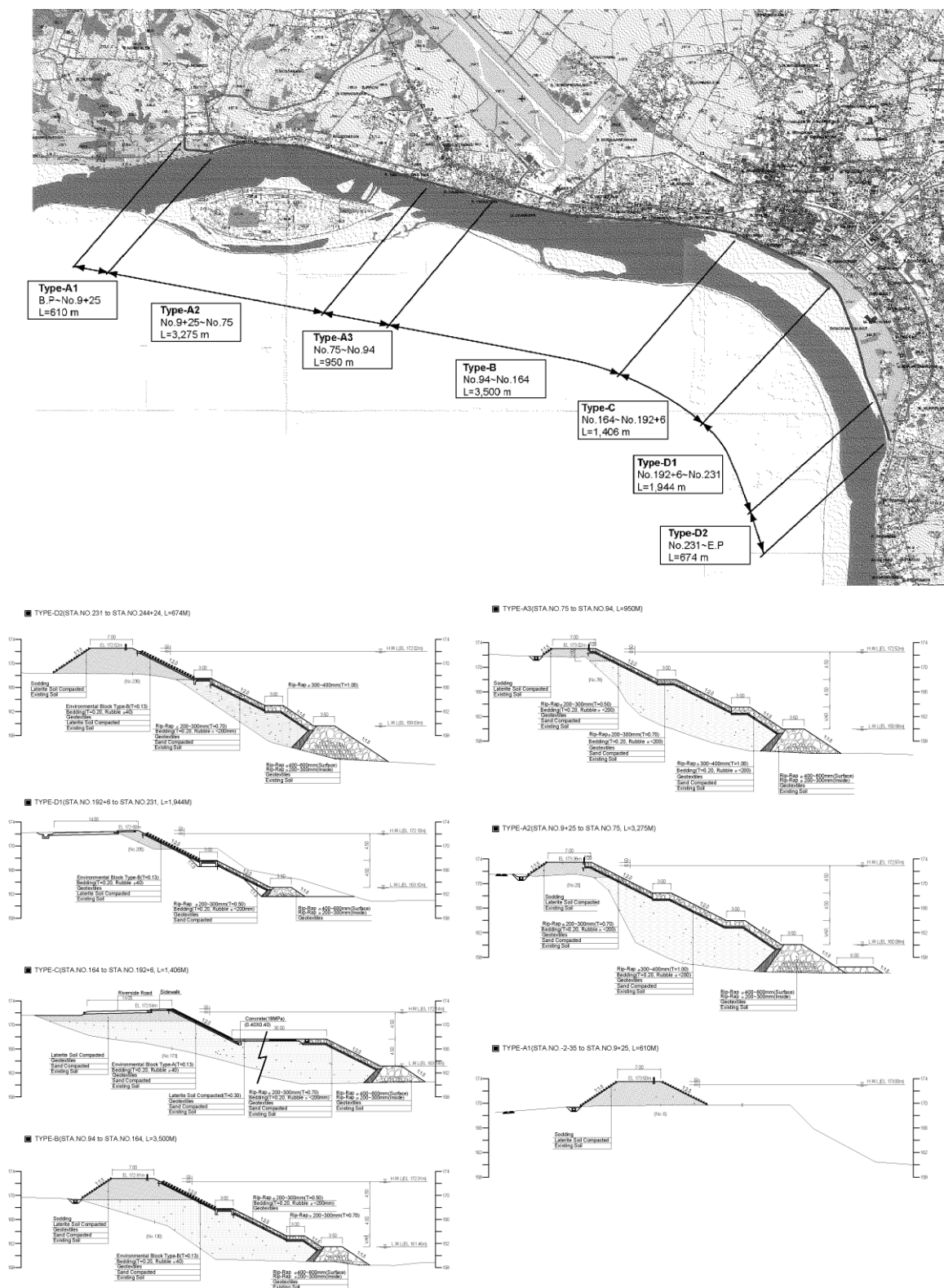
(7) 排水システム・T2 道路改良工事プロジェクト

タイ国の資金援助により実施された「排水システム・T2 道路改良工事プロジェクト」により、Hong Wattay の下流 2.9 km 区間が改修された。同プロジェクトでは、VUDAA が実施機関となり、バンコクの TEAM Consulting and Management Co., Ltd. とビエンチャンの STS Consultant Co., Ltd がコンサルティングサービスを実施した。プロジェクト実施期間は 2006 年 8 月から 2008 年 2 月であった。

(8) メコン川総合管理プロジェクト（実施中）

韓国の経済開発協力機構（EDCF）の融資による「メコン川総合管理プロジェクト」が 2009 年に開始された。プロジェクトは DPWT を実施機関とし、2013 年に完了予定である。事業内容は以下のとおりであり、建設費は総額 30,855,000 US ドルである。

- メコン河の洪水や河岸浸食からビエンチャン市を守るために Kaoliao から KM3 までの 12.2 km 区間に堤防、護岸を建設する。施設の設計流量は $26,500\text{m}^3/\text{s}$ （100 年確率洪水）である。（図 2.4.5、写真 2.4.1 参照）
- 堤防上に河川沿い道路（延長 2.7 km、アスファルト舗装）を建設する。
- 観光資源や憩いの場などの水辺環境へのニーズの高まりを受けて、河川公園（Chao Anouvong Park、16 ha）を建設する。（写真 2.4.1 参照）



Source: Mekong River Integrated Management Project, Economic Development Cooperation Fund (EDCF), Korea

図 2.4.5 メコン川総合管理プロジェクト概要図

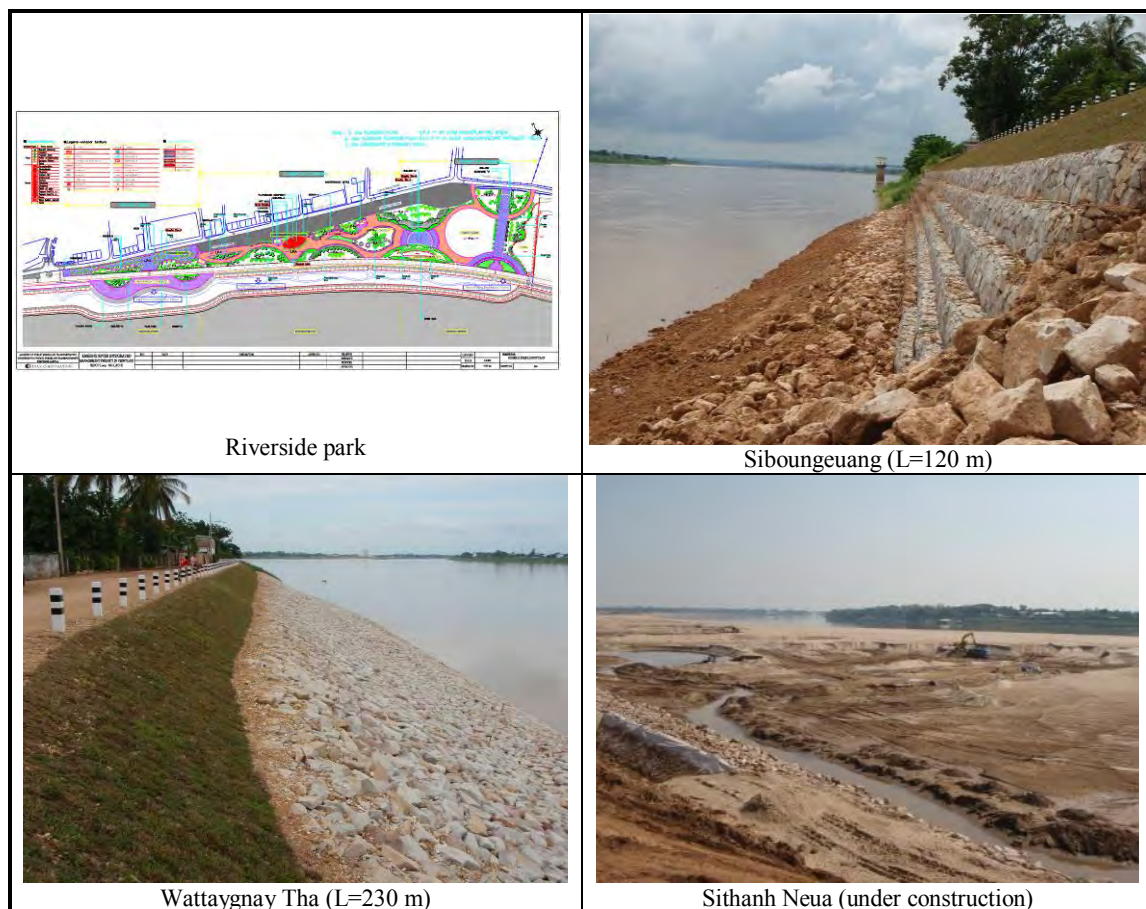


写真 2.4.1 メコン川総合管理プロジェクト実施状況

2.4.2 排水システム

ビエンチャン市の排水システムは、大きく Hong Xeng システムと Hong Ke システムに分けられる。これらの排水システムは、「2.4.1 既往の調査・プロジェクト」で記述した種々のプロジェクトにより改修されてきた。これらのプロジェクトにより、ビエンチャン市内の排水状況は大幅に改善されてきている。

(1) 排水の現状

(a) 過去の主な洪水

ビエンチャン市は、メコン河洪水の氾濫・堆積作用の繰り返しにより形成された沖積平野に位置しており、しばしばメコン河の洪水や豪雨により被害を蒙っている。ビエンチャン市を襲った過去の主要な洪水は次のとおりである。

1966 年 9 月洪水

1966 年、台風 Phyllis がメコン河流域を襲い多大な洪水被害をもたらした。メコン河のビエンチャン水位観測所では、8 月 28 日から 9 月 15 日にかけて 19 日間連続で警戒水位 11.5 m を超えた。9 月 4 日には、洪水水位 12.5 m を上回る最高水位 12.71 m を記録した。同水位は

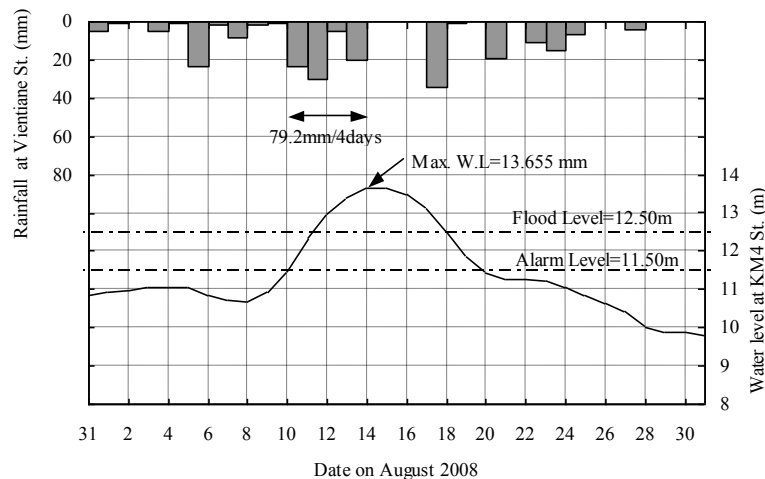
当時の観測史上最高水位であった。この洪水によりメコン河が氾濫し、Wattay 空港を含む標高 170 m 以下の地域が冠水した。

1988 年 5 月洪水

1988 年 5 月 14 日、ビエンチャン市を豪雨が襲い、日雨量 162 mm を記録した。この降雨量は、10 年確率雨量 (150.6 mm/日) を上回るものであった。道路、家、寺、水田等、市内の各所で浸水被害が発生した。

2002 年 8 月洪水

2008 年 8 月、台風 Kammuri が中国南部に上陸し、ベトナム北部、ラオス北部を通過した。この台風に伴う降雨によりメコン河の水位は上昇しつづけ、ビエンチャン市の KM4 水位観測所では 8 月 11 日に警戒水位 11.5 m を超え、翌 12 日には洪水水位 12.5 m も突破した。最終的に 1913 年の観測開始以来、史上最高の 13.655 m を記録した (図 2.4.6 参照)。同最高水



位は、1966 年に記録した既往最高水位 (12.71 m) を約 1 m 上回るものであった。

Source: DMH

図 2.4.6 2008 年 8 月洪水の hidro ハイエットグラフ

本洪水によるビエンチャン市の被害については、ビエンチャン市が作成した「被害と復旧 2008 年 (Damage & Recovery Report in 2008)」に詳述されている。1966 年洪水以降にメコン河の堤防が嵩上げされたことや、メコン河沿いの Kaoliao から Chinaimo に至る約 17 km の区間に土のう積み工が施された (写真 2.4.2 左) ことにより、ビエンチャン市街地では深刻な氾濫被害は生じなかった。ただし、一部区間で堤防や土のうからの浸透による浸水が生じた。また、郊外の Sikhottabong 区や Hadxaifong 区ではメコン河からの氾濫や河岸浸食により甚大な洪水被害が発生した (写真 2.4.2 右)。

図 2.4.6 に示すように、洪水時のビエンチャン市の降雨量 (11 日～14 日) は 79.2 mm/4 日とそれ程多くなく、同年 6 月や 7 月に記録した降雨量に比べても少ないものであった。このため、ビエンチャン市街地では深刻な内水氾濫は生じなかった。



Source: MPWT

写真 2.4.2 2008 年 8 月洪水

(b) 排水の現状

「ビエンチャン市道路・排水現況調査（2002）」では、ビエンチャン市街地内に 175 箇所の洪水常襲地域が確認された。これらの地域では年間 5 回以上の浸水被害が生じていた。しかし、「ビエンチャン市総合都市開発プロジェクト」、「ビエンチャン都市施設・機能プロジェクト」での排水路の改修により、市街地の排水状況は大幅に改善され、同プロジェクトの完了後は、これら排水路沿いの地域では浸水被害は発生していない。

しかし、排水路内には土砂堆積が進行しており、堆積土砂による流下断面の減少、疎通能力の低下の恐れがある。土砂の堆積状況を把握するために、本調査の中で 2009 年 5 月～6 月に堆砂量調査を実施した。調査結果は図 2.4.7 に示すとおりである。Hong Xeng、Hong Ke、Hong Wattay は堆積土砂量が多い。しかし、単位河床面積あたりの土砂量をみると、排水路間に大きな違いはない。

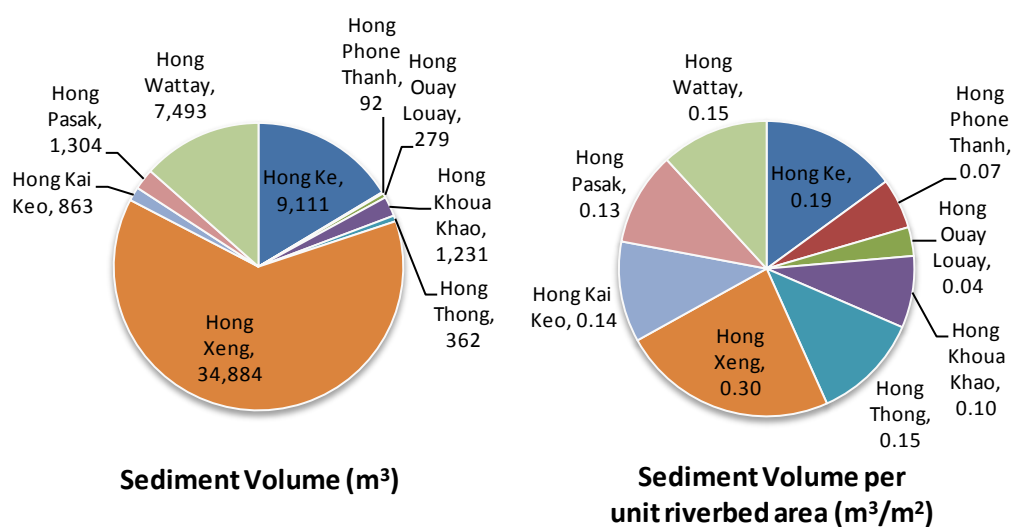


図 2.4.7 排水路内の土砂堆積量

(2) 排水路

ビエンチャン市街地の排水網は、(a) Hong Xeng システム：Hong Xeng とその支川である Hong Kai Keo、Hong Pasak、Hong Wattay、Nam Pasak と(b) Hong Ke システム：Hong Ke とその支川である Hong Phone Thanh、Hong Ouay Louay、Hong Thong、Houng Khoua Khao で構成されている（図 2.4.8 参照）。排水面積は、Hong Xeng システム：56.57 km²、Hong Ke システム：9.54 km²である。

これらの排水路は「2.4.1 既往の調査・プロジェクト」に示したプロジェクトにより改修されてきた（表 2.4.3 参照）。これらプロジェクトの施工図面や本調査で実施した排水施設調査の結果を基に、現況の水路特性について整理した結果を以下に記述する。

表 2.4.3 Hong Xeng、Hong Ke システムの排水路

Channel	Stretch	Organization	Completion Year	Project
Hong Xeng System				
Hong Xeng	D/S 1.5 km	VUDAA	2009	
	4.2 km	VUDAA	2006	VUIISP ¹⁾
Hong Kai Keo	1.3 km	VUDAA		VIUDP ²⁾
Hong Pasak	D/S 1.7 km	VUDAA	2000	VIUDP
	U/S 1.5 km	MCTPC	1995	Rehabilitation of Sihom Area Project
Hong Wattay	D/S 2.7 km	VUDAA	2005	Drainage System and T2 Road Improvement Project
	U/S 2.3 km	VUDAA	2006	VUIISP
Hong Ke System				
Hong Ke	3.4 km	VUDAA	2001	VIUDP
Hong Phone Thanh	0.95 km	VUDAA		VIUDP
Hong Ouay Louay	1.8 km	VUDAA		VIUDP
Hong Khoua Khao	2.55 km	VUDAA	2001	VIUDP
Hong Thong	1.75 km	VUDAA	2001	VIUDP

Note: ¹⁾ VUIISP: Vientiane Urban Infrastructure and Service Project

²⁾ VIUDP: Vientiane Integrated Urban Development Project

Source: VUDAA

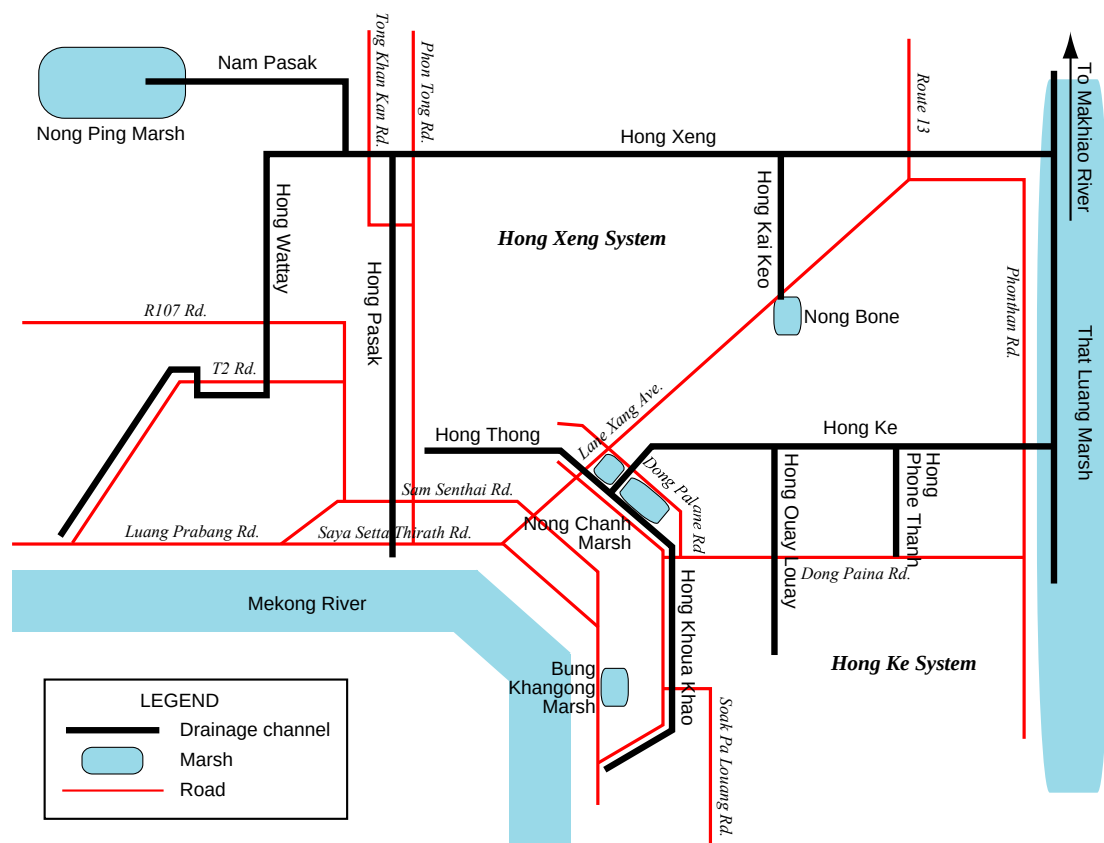


図 2.4.8 ビエンチャン市街地の排水システム

既往プロジェクトの施工図面等を基に、各排水路について以下に示す水路縦横断諸元や流下能力を整理し、結果を **Data Book Fig. 2.4.10～Data Book Fig. 2.4.18** の水路特性図に示した。

水路縦断 (Longitudinal Profile) : 河岸高、河床高、河床勾配を水路縦断図に示す。また、図中に本調査で測量した堆積土砂の高さも示す。

水路幅 (River Width) : 河床勾配や河岸高、水路断面形等が同じような区間について代表断面を作成し、その河岸幅と河床幅を示す。施工図面が入手できなかった区間 (Hong Pasak 上流 1,360 m、Hong Ke 上流 150 m、Hong Khoua Khao 下流 250 m、Hong Thong 下流 400 m) については、本調査の中で簡易測量を実施し、断面形を設定した。

流下能力 (Carrying Capacity) : 流下能力は以下に示す Manning の平均流速式により算出した。このときの水路条件は、施工断面 (As built) と水路内の堆積土砂を考慮した現況断面 (Existing) の 2 ケースを設定した。

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times R^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}}$$

ここで、 Q : 流下能力 (m³/s)
 n : 粗度係数

- コンクリート三面張りの場合 : $n = 0.016$
- コンクリート護岸の場合 : $n = 0.025$
- 素掘りの場合 : $n = 0.030$

出典：日本河川協会「建設省河川砂防技術基準(案)同解説 調査編」他

A : 流下面積 (m^2) 水深は、「下水道施設計画・設計指針と解説」に準じて、
河岸高の 8 割 (8 割水深) を使用した。

R : 径深 (m)

I : 河床勾配

Hong Xeng

Hong Xeng は Hong Xeng 排水システムの主流路である。その排水面積は 56.57 km^2 、水路延長は 4.01 km である。Hong Xeng は、Nam Pasak と Hong Wattay の合流点 (St. 4+006) を始点とし、途中で Hong Pasak (St. 2+875) と Hong Kai Keo (St. 1+158) を合流する。

13 号線橋梁の 320 m 下流の St. 0+000 地点から上流端までの区間は、「ビエンチャン都市施設・機能プロジェクト」において、コンクリート護岸が整備されている。St. 0+000 より下流の区間は、2009 年に VUDAA により拡幅され、浚渫土砂が両河岸上に約 1 m の高さに盛られている。

Data Book Fig. 3.1.2 に示すとおり、St. 0+000 より下流は地盤高が低いために、上流区間に比べて流下能力が小さい。この区間は元々 That Luang 湿地の一部であり、現在は荒廃地または水田となっている。

流下能力は全川において小さく、堆砂を考慮しない施工断面の場合でも安全度は 2 年確率を下回っている。一方、支川の Hong Kai Keo や Hong Pasak の流下能力は 2 年確率流量以上である。そのため、これら支川に 2 年確率流量が流下して Hong Xeng に流入した場合、Hong Xeng で氾濫が生じる可能性がある。

Hong Xeng が改修された「ビエンチャン都市施設・機能プロジェクト」以降、2 年確率雨量 (104.0 mm/日) を超える降雨が 2 度発生している (2006 年 7 月 30 日 : 154.0 mm/日 と同年 10 月 9 日 : 160.1 mm/日)。このとき Hong Xeng では、流下能力が 2 年確率流量未満であるにもかかわらず、氾濫は発生しなかった。その理由は次のように考えられる。

Hong Xeng の流域には多くの湿地や池があり、GIS によるとそれらの総面積は 225 ha である。降雨時にこれらの水域に水深 0.5 m 分の水が貯められるとすると、その貯水容量は $1,125 \times 10^3 \text{ m}^3$ となる。一方、13 号線橋梁地点の 2 年確率のハイドログラフを合成合理式により作成すると 図 2.4.9 (左図) のようになる。このハイドログラフから流域貯留分 ($1,125 \times 10^3 \text{ m}^3$) を差し引くと、そのピーク流量は $90 \text{ m}^3/\text{s}$ から $42 \text{ m}^3/\text{s}$ に減少する (図 2.4.9 (右図) 参照)。13 号線橋梁地点の河岸満杯流量は $42.3 \text{ m}^3/\text{s}$ であるので、流域貯留後のピーク流量 ($42 \text{ m}^3/\text{s}$) を流下させることが可能である。以上より、Hong Xeng は流域内の湿地や池の貯留効果により 2 年確率流量を氾濫することなく流下させることができる、と言える。

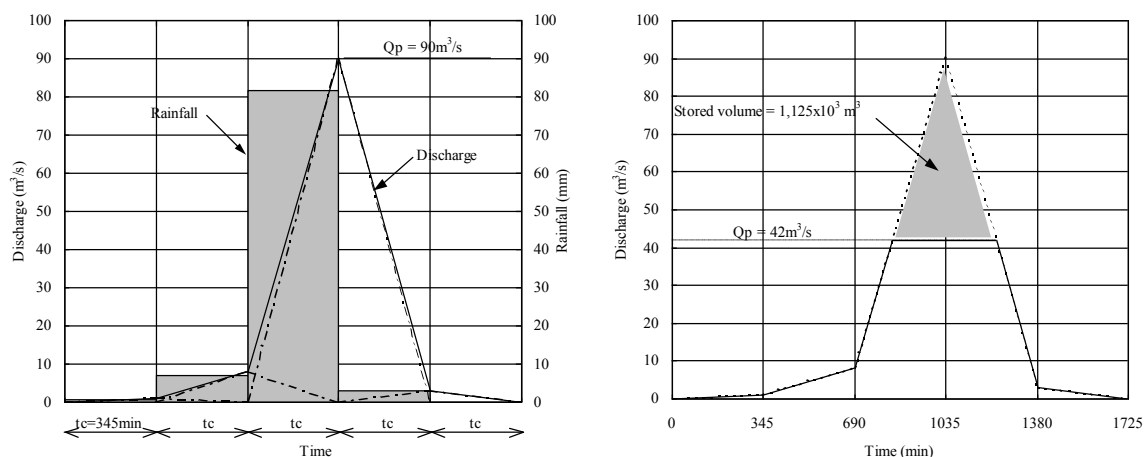


図 2.4.9 Hong Xeng 13 号線橋梁地点のハイドログラフ

Hong Kai Keo

Hong Kai Keo は Hong Xeng の右支川で、その 13 号線橋梁の上流 900 m の地点で合流する。流域面積 3.09 km² を有し、水路延長は 1.36 km である。河岸と河床はコンクリートで被覆されており、水路幅は 11–13 m、河床勾配は 1/2,500 である。施工断面は 25 m³/s–17 m³/s の流下能力を有するが、現況では水路内の堆積土砂のため流下能力は 25 m³/s–9 m³/s に低下している。これらの水路特性は **Data Book Fig. 3.1.3** に示したとおりである。Hong Kai Keo は上流端で Nong Bon 湿地に接続されている。本流域には以下の 4 つの湿地がある。

- Thong Sang Nang 湿地 2.66 ha
- Phosaat 湿地 2.07 ha
- Nong Bon 湿地 1.99 ha
- Naxay 湿地 0.81 ha

Hong Pasak

Hong Pasak（集水面積 2.24 km²）は市中心部を流れている。上流の 1.5 km 区間は「Sihom 地区改善プロジェクト」で、下流の 1.7 km は「ビエンチャン市総合都市開発プロジェクト」で改修され、全川がコンクリート三面張りになっている。後者のプロジェクトでは 5 箇所の蛇行区間に捷水路が設けられた。

「Sihom 地区改善プロジェクト」で改修された上流区間の図面が入手できなかったため、本調査で簡易測量した断面形状と下流区間と同じ河床勾配（1/2,500）を用いて代表断面を作成し、水路特性を整理した（**Data Book Fig. 3.1.4** 参照）。現況水路の流下能力は、水路内の堆砂のために施工時の約 60 % に減少している。

Hong Wattay

Hong Wattay（排水面積 9.28 km²）は 1985 年に灌漑用水路として建設された。その後、「排水システム・T2 道路改良工事プロジェクト」において下流 2.7 km が、また、「ビエンチャン都市施設・機能プロジェクト」において上流 2.3 km が、コンクリート三面張りの排水路として改修さ

れた。河床勾配は、水田地帯を流れる下流部は 1/4,760－1/5,000、自然堤防帯を流れる上流部は 1/2,000－1/3,230 である。施工断面の流下能力が 43 m³/s－12 m³/s であるのに対し、現況断面の流下能力は 25 m³/s－7 m³/s である。治水安全度は、施工断面、現況断面とも全区間が 2 年確率未満である（Data Book Fig. 3.1.5 参照）。

Hong Ke

Hong Ke は Hong Ke 排水システムの主水路であり、水路延長、排水面積は 3.65 km、9.54 km² である。Hong Ke は Nong Chang 湿地近くの Hong Khoua Khao と Hong Thong の合流点から始まり、St. 1+683 で Hong Ouay Louay を合流し、St. 1+250 で Hong Phone Thanh を合流して、最終的に That Luang 湿地に排水される。

Hong Ke は 1983 年に河積確保のために掘削、拡張された。その後、2001 年に「ビエンチャン市総合都市開発プロジェクト」で再び改修された。同プロジェクトでは、当初 Nong Chanh 湿地を遊水地として改修する予定であったが、その効果が低いとの理由により、湿地の改修はキャンセルされた。Phonthan 道路橋（St. 0+730）より下流にはコンクリート護岸が、橋梁より上流にはコンクリート護岸と護床工が整備されている。

Hong Ke の水路特性は Data Book Fig. 3.1.6 に示すとおりであるが、Phonthan 道路橋の上下流で整理すると以下のとおりとなる。

区間	河床勾配	河岸幅	現況流下能力
• St. 0+000－St. 0+730	1/3,330	39.4 m	66 m ³ /s
• St. 0+730－St. 3+650	1/2,500	20.6－16.0 m	38－24 m ³ /s

Hong Phone Thanh

Hong Phone Thanh は水路延長 0.95 km、排水面積 0.48 km² であり、「ビエンチャン市総合都市開発プロジェクト」により改修され、コンクリート護岸と護床工が建設された。水路勾配は急勾配区間（1/105 - 192）と緩勾配区間（1/1,110）が交互に現れる。施工断面の流下能力は 30 年確率流量相当であるが、現状では中上流部で堆砂により流下断面が減少し 3.8－6.7 年確率流量に減少している（Data Book Fig. 3.1.7 参照）。

Hong Ouay Louay

Hong Ouay Louay は住宅地域を流れ、1.66 km² の排水面積を有する。全長が 1.80 km のコンクリート三面張り水路である。河床勾配は St. 1+300 付近（1/96）を除くと、1/1,950 - 1/2,500 である。下流部および上流部には土砂の堆積は見られないが、中流部には水路内に土砂が堆積している。そのため中流部では堆砂により現況河道の流下能力が施工断面の約半分になっている（Data Book Fig. 3.1.8 参照）。

Hong Khoua Khao

Hong Khoua Khao は、1945 年にフランスの支援により建設された。現在の水路は「ビエンチャン市総合都市開発プロジェクト」で改修されたものであるが、それ以前は、St. 1+800 を境に Hong

Ke 方向と Mekong 河方向に流下していた。「ビエンチャン市総合都市開発プロジェクト」でメコン河との合流点を締め切り、同地点から Hong Ke へ流下する水路に改修された。

現水路の集水面積は 2.60 km^2 、水路延長は 2.56 km である。水路の河岸と河床はコンクリートで被覆されている。施工断面の流下能力は $26 \text{ m}^3/\text{s}$ – $12 \text{ m}^3/\text{s}$ であるが、現在は平均 10 cm 厚の堆砂による影響で $16 \text{ m}^3/\text{s}$ – $7 \text{ m}^3/\text{s}$ に減少している（Data Book Fig. 3.1.9 参照）。

Hong Thong

Hong Thong は 1945 年、フランスの支援により建設された。その後、「ビエンチャン市総合都市開発プロジェクト」により下流 320 m を開水路として、上流 $1,470 \text{ m}$ を暗渠として改修された。同プロジェクトの施工図面と実際の水路とは、開水路長や断面形状が一致していなかったため、本調査の中で測量した断面形状と施工図面の河床高、水路勾配を基に代表断面を作成し、水路特性を整理した。Data Book Fig. 3.1.10 に示すとおり、Hong Thong は本来 10 年確率相当の流下能力を有しているが、現状では河道内の堆砂により施工時の流下能力の約 3 分の 1 程度に減少している。

(3) 排水ゲート

Mak Hiao 川の下流には、メコン河との合流点付近に 2 つの排水ゲートが設置されている（写真 2.4.3 参照）。本ゲートはビエンチャン市灌漑局農林部が管理しているが、施設の設計図面や報告書類は事務所移転時に紛失しているため構造の詳細は不明である。

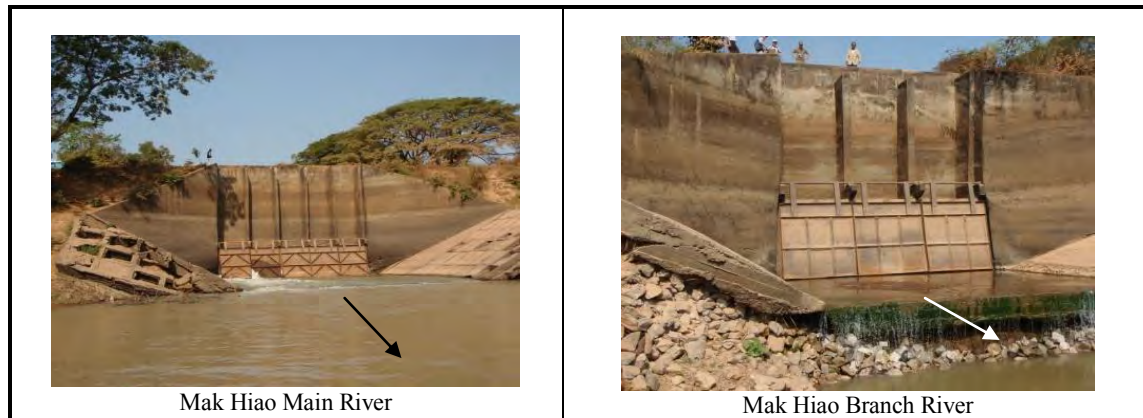


写真 2.4.3 Mak Hiao 川排水ゲート

ゲートは一箇所につき、上流側と下流側のそれぞれに設置されている（表 2.4.4 参照）。雨期には上流側ゲートを開けることにより、Mak Hiao 川の洪水を下流側のフラップゲートを通してメコン河へ排水する。メコン河の水位が高い場合には、下流側フラップゲートがメコン河の背水を防止する。乾期には上流側ゲートを閉じることにより、Mak Hiao 川に水を貯め、上流域で農業用水として利用される。本排水ゲートの建設の経緯を図 2.4.19 に示す。

表 2.4.4 Mak Hiao 川の排水ゲート

Channel	Completion Year	Gate Type
Mak Hiao Main River	1976	Upstream: Sluice gate Downstream: Flap gate
Mak Hiao Branch River	1995	Upstream: Stop log Downstream: Flap gate

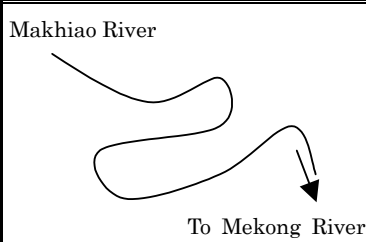
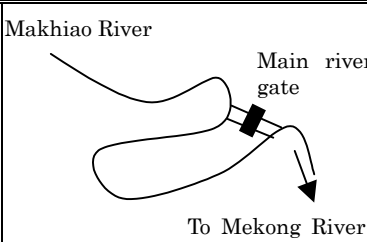
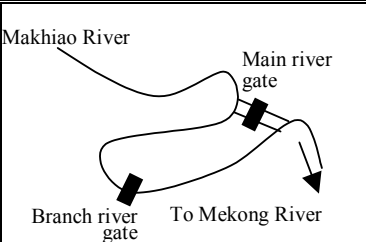
1 (before 1976)	2 (from 1976 to 1995)	3 (from 1995 onward)
 There is no gate before 1976.	 Short cut channel was excavated to drain floodwater quickly. And gate was constructed for backflow prevention in 1976.	 A new gate was installed on branch river in 1995 in order to prevent backflow from Mekong River.

図 2.4.10 Mak Hiao 川排水ゲートの設置

(4) 支線排水路計画

VUDAA では、Hong Xeng システム、Hong Ke システムまたは That Luang 湿地に接続する支線排水路の改修を計画している。これらの排水路は Chanthabouly、Sikhottabong、Saysetha、Sisathanak 地区を流下する。VUDAA は、本計画に関する調査を MPWT に提案しており、現在その承認を待っている。本計画では、現在利用されていない用水路の再改修や既存排水路の改修が予定されている。これらの支線排水路が改修されればビエンチャン市街地の北部ならびに南部地域の浸水に対する安全度は大幅に改善される。図 2.4.20 に本計画の概要図を示す。

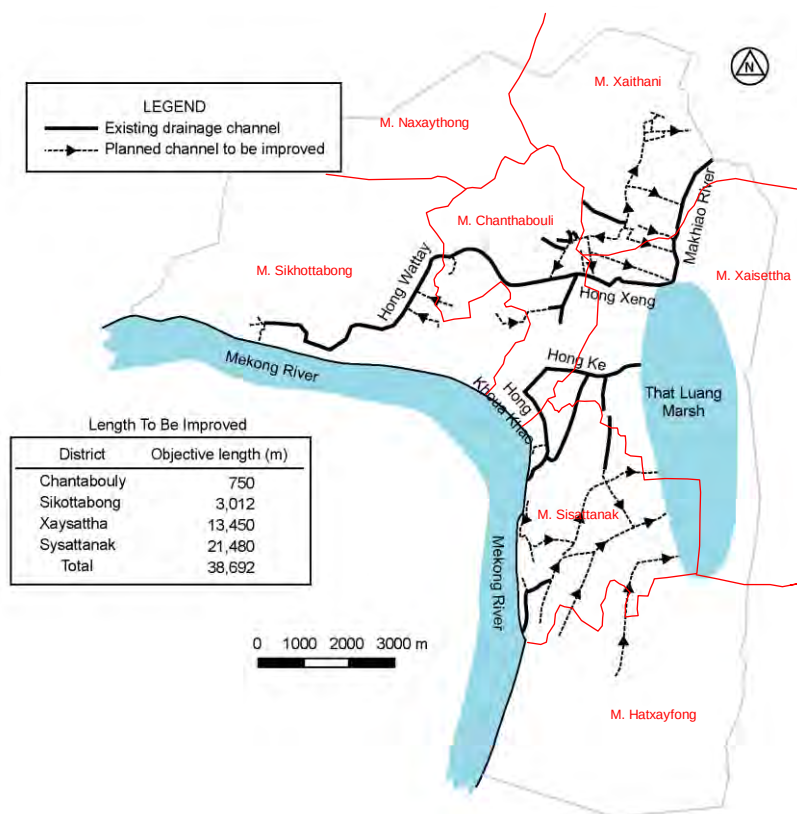


図 2.4.11 支線排水路計画概要図

2.4.3 排水路の維持管理

ビエンチャン市街地内の排水路の維持管理は VUDAA が管轄している。しかし、VUDAA は維持管理に必要な機器材を有しておらず、民間業者に委託している。業者選定は財務省の規定（“Decree on bidding of procurement construction, maintenance and services from government’s budget, No.03/pm, 09/01/2004”では契約金額が 5 千万 Kip 未満の場合、入札は不要とされている。）に従い、随意契約で行われている。選定された業者はバックホウ、小型ブルドーザー、トラック、人力等を用いて水路の清掃を行っている。清掃作業に排水路沿いの村は関与していない。VUDAA は維持管理計画を策定しており、その中で年間 2 回の清掃を計画しているが、予算不足のため実際には年 1 回の実施にとどまっている。清掃作業は雨期が始まる前に行われるが、場合によっては雨期中に追加的に作業を行うこともある。維持管理計画では、浚渫・除去した土や草は市中心部から 32 km 離れた処分場に投棄することを定めているが、実際には、埋め立て材料として住民が持ち去るために計画に則った処理がなされていない。

VUDAA の排水路の維持管理に係る予算は、表 2.4.5 に示すとおり年間約 3~3.5 億 Kip である。この予算は、MPWT の道路管理基金とビエンチャン市から拠出されている。排水路の維持管理（清掃）は浚渫と処分場までの運搬からなり、それぞれの費用は以下のとおりである。

- 浚渫（排水路） : 25,945 Kip/m³
- 浚渫（マンホール） : 50,000 Kip/m³

- 浚渫（側溝） : 20,000 Kip/m³
- 処分場までの運搬 : 500,000 Kip／台（積載量は4m³／台）

表 2.4.5 近年の維持管理予算

Year	Budget (Kip)
2007 - 2008	292,000,000
2008 - 2009	370,000,000
2009 - 2010	366,000,000

Source: VUDAA

本調査で実施した堆砂量調査によると、対象水路内の堆砂量は合計55,619 m³である。これら全ての堆積土砂を処分するためには8,398百万Kipが必要となる（表2.4.6参照）が、これはVUDAAの維持管理予算の20年分以上である。

表 2.4.6 堆積土砂量と維持管理費

Channel	Sediment Volume (m ³)	Work Item	Unit Cost (Kip/m ³)	Sediment Volume (m ³)	Cost (Kip million)
Hong Xeng	9,111	Dredging	26,000	55,619	1,446
Hong Kai Keo	92	Transportation	125,000	55,619	6,952
Hong Pasak	279				
Hong Wattay	1,231				
Hong Ke	362				
Hong Phone Thanh	34,884				
Hong Ouay Louay	863				
Hong Khoua Khao	1,304				
Hong Thong	7,493				
Total	55,619	Total			8,398

8,398 (mil.Kip) / 350 (mil.Kip/year) = 24 (years)

2.5 水質調査

本節では、水質モニタリングと水質汚濁解析の結果について述べる。調査団は、調査期間中 8 回の定期モニタリングと 3 回の縦断同時モニタリングを、1) Mak Hiao 川流域の水質の現状を把握する、2) 水質汚濁解析を実施する、ために実施した。また調査団は、既存工場からの廃水が、どのように処理され、公共用水域に放流されているのかについて調査を行った。

上記の調査結果に基づき、調査団は水質汚濁解析を実施し、Mak Hiao 川流域内で発生する汚濁負荷の流出状況や自然浄化機能を、現況(2009 年)および目標年次(2020 年)に対して評価した。

2.5.1 水質モニタリングの方法

(1) 定期モニタリング

(a) 調査地点

調査地点は、Mak Hiao 川とその主要な支川である Hong Ke と Hong Xeng に着目して選定した。調査地点数は、全部で 15 箇所であり、表 2.5.1、図 2.5.1 および図 2.5.2 に示すように、メインモニタリングポイント 6 箇所と、サブモニタリングポイント 9 箇所からなる。

メインモニタリングポイントにおいては、重金属や農薬を含む全水質項目を分析した。一方、サブモニタリングポイントにおいては、重金属や農薬を除く水質項目を分析した。水質分析項目は、表 2.5.4 に示している。

表 2.5.1 定期モニタリング 調査地点数

Symbol	Classification	Number of points
MP	Main monitoring points	6
SP	Sub monitoring points	9
	Total	15

15 箇所の調査地点の詳細位置や調査目的を、表 2.5.2 に示す。15 箇所のうち、MP1、MP2、MP3、SP3、SP 6、SP7、SP8 および SP9(全 8 箇所)は、WERI-WREA による調査地点と同位置である。

表 2.5.2 定期モニタリング 調査地点

No.	Monitoring Point	Monitoring Purpose
MP 1	Downstream end of Hong Xeng	To check water quality of major channel
MP 2	Downstream end of Hong Ke	Ditto
MP 3	Upstream end of That Luang Marsh	Ditto
MP 4	Upstream end of Na Khay Marsh	To measure natural purification function by the marsh
MP 5	Downstream end of Na Khay Marsh	Ditto
MP 6	Confluence of the Mekong River and Mak Hiao River	To measure natural purification function by the river
SP 1	Downstream end of Hong Wattay	To check water quality of tributaries of Hong Xeng
SP 2	Downstream end of Nam Pasak	To check water quality of tributaries which drain suburban and/or rural areas
SP 3	Downstream end of Hong Pasak	To check water quality of tributaries of Hong Xeng
SP 4	Downstream end of Hong Thong	To check water quality of tributaries of Hong Ke
SP 5	Downstream end of Hong Khoua Khao	Ditto
SP 6	Downstream end of Hong Kai Keo	Ditto
SP 7	Midstream of Hong Ke	To check water quality of major channel
SP 8	Downstream end of Hong Ouay Louay	To check water quality of tributaries of Hong Ke
SP 9	Downstream end of That Luang Marsh	To measure natural purification function by the marsh

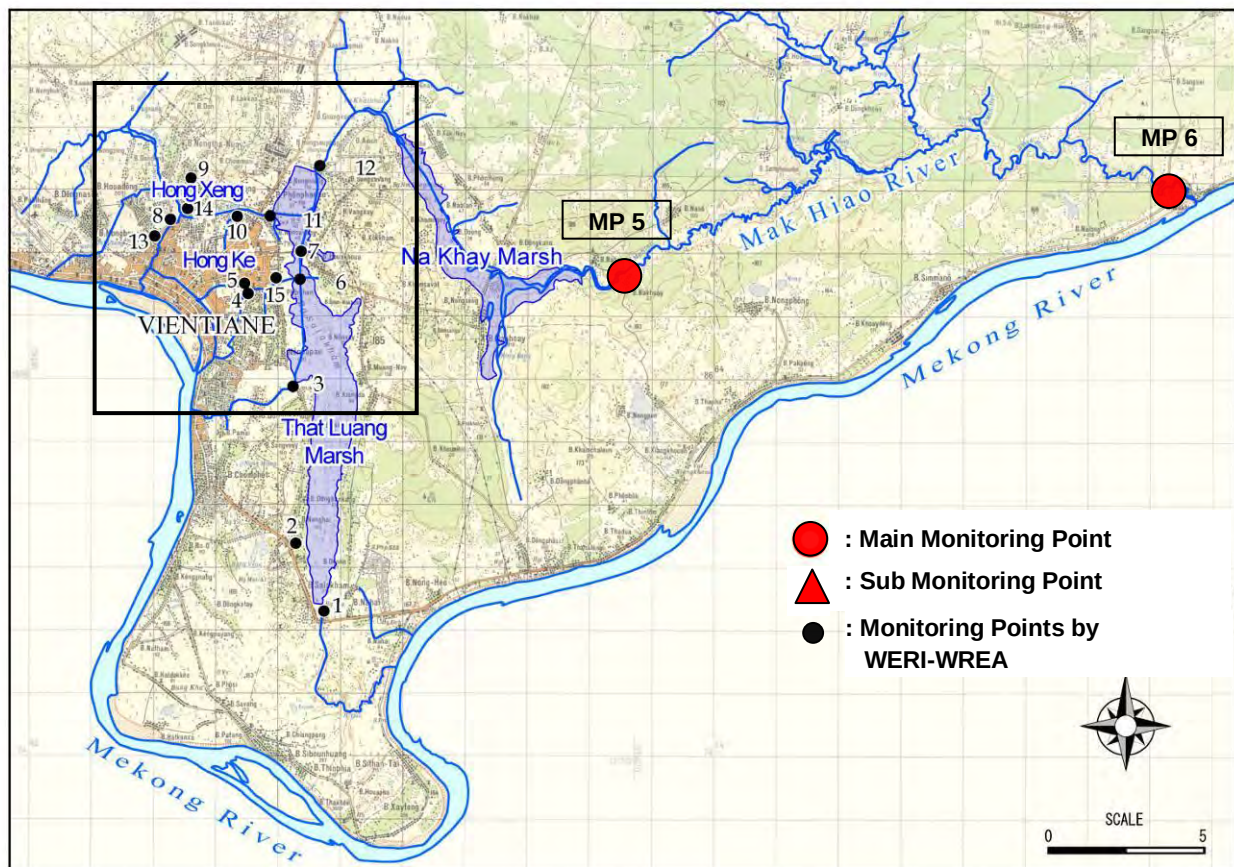


図 2.5.1 定期モニタリングポイント位置図 (1/2)

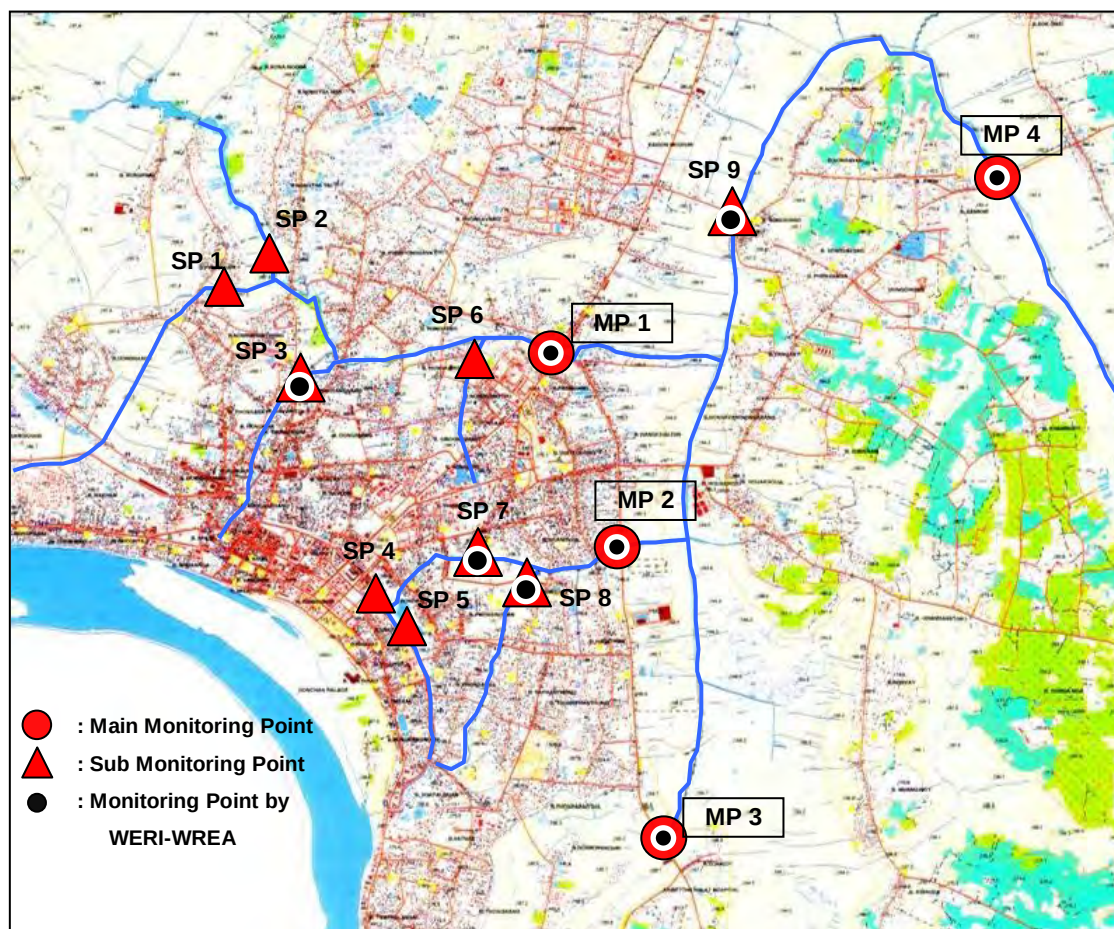


図 2.5.2 定期モニタリングポイント位置図 (2/2)

(b) 調査頻度

定期モニタリング調査は、2009 年から 2010 年にかけて 8 回実施され、このうち乾期(11 月～4 月)に 6 回、雨期(5 月～10 月)に 2 回、それぞれ実施した(表 2.5.3 参照)。

表 2.5.3 定期モニタリング 調査頻度

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

(c) 調査方法および調査項目

水質分析は、原則として簡易分析機材を用いて行った。しかしながら、BOD、SS、総大腸菌群数、糞便性大腸菌群数、重金属(6 項目)、農薬(3 項目)については、ラオスやタイの信頼できるラボに分析を依頼した。

メインモニタリングポイント(6箇所)では、表 2.5.4 に示す全ての項目について分析を行った。一方、サブモニタリングポイント(9箇所)においては、重金属と農薬を除く項目について分析を行った(表 2.5.4 参照)。

表 2.5.4 定期モニタリングにおける調査項目と調査方法

Group	Classification	Parameters	Analysis Methods	Analytical Equipment	Monitoring Points
I	Stream flow	Depth and width of flow, velocity	Field measurement	Potable electro-magnetic velocity meter (KENEK/VE20)	15 points (SP and MP)
II	Field observation item	Odor, color, air temperature	ditto	Surveyor	
III	Basic item	(1) pH, EC, turbidity, DO, water temperature, TDS, ORP	ditto	Potable equipment (Horiba Multi Water Quality Checker U-50)	
		(2) NH ₃ -N, NO ₂ -N, NO ₃ -N, PO ₄ -P, hardness, sulfide, acidity, alkalinity, Zn, Fe, Mn	ditto	Potable equipment (HACHCEL/850)	
IV	Organic pollutant	(1)COD _{Mn}	ditto	Pack test (WAK-COD)	6 points (MP only)
		(2)BOD, SS, total coliform, fecal coliform	Analysis in Laboratory	WREA-WERI or a laboratory in Thailand: BOD:Azide modification method SS :Total suspended solids dried at 103-105 degree Celsius Total/fecal coliform:Multiple tube fermentation technique	
V	Heavy metal	Cadmium(Cd), Mercury(Hg), Selenium(Se), Lead(Pb), Arsenic(As), Hexavalent Chromium (Cr ⁶⁺)	ditto	A laboratory in Thailand: Cd,Pb:Nitric acid digestion and direct air-acetylene flame method Hg : Cold vapor atomic absorption spectrometric method Pb :Nitric acid digestion and inductively coupled plasma method Se,As:Hydride generation AAS method Cr ⁶⁺ :Colorimetric method	
IV	Pesticide	Simazine, Thiram, Thiobencarb	ditto	A laboratory in Thailand: Simazine:Gas chromatography/mass spectrometric method Thiram :High performance liquid chromatographic method Thiobencarb:Gas chromatographic method	

(2) 縦断同時モニタリング

定期モニタリングに加えて、Hong Ke および Hong Xeng の縦断方向の水質変化や自然浄化機能を評価するため、2009 年 6 月より縦断同時モニタリングを実施した。

(a) 調査地点

表 2.5.5 および図 2.5.3 に示すとおり、モニタリングポイントは全部で 23 箇所である。表 2.5.6 に調査位置の詳細を示す。

表 2.5.5 縦断同時モニタリング 調査地点数

Symbol	Classification	Number of points
LA	Hong Ke and its tributaries	9
LB	Hong Xeng and its tributaries	14
	Total	23

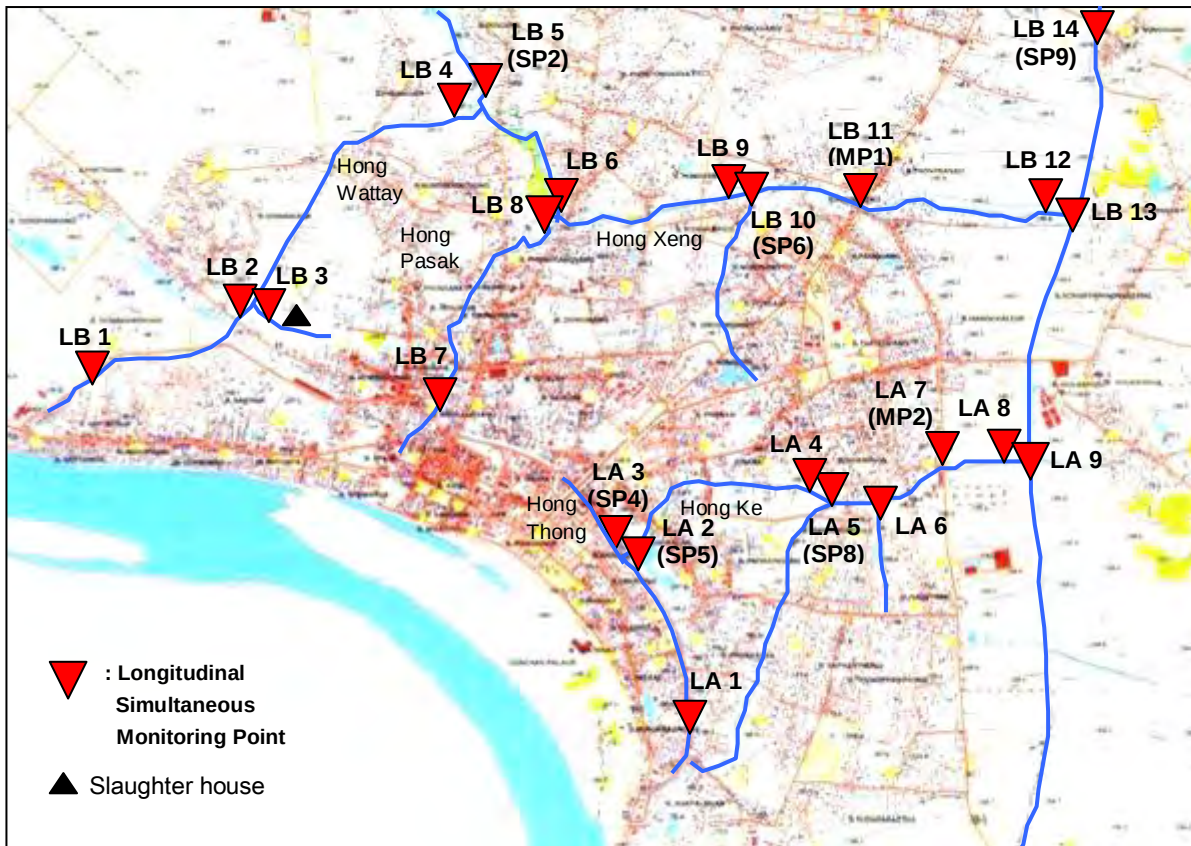


図 2.5.3 縦断同時モニタリングポイント位置図

表 2.5.6 縦断同時モニタリング 調査地点

No.	Monitoring Point	Remarks
LA-1	Upstream end of Hong Khoua Khao	
LA-2	Downstream end of Hong Khoua Khao	Same location of SP 5
LA-3	Downstream end of Hong Thong	Same location of SP 4
LA-4	Confluence of Hong Ouay Louay and Hong Ke	
LA-5	Downstream end of Hong Ouay Louay	Same location of SP 8
LA-6	Downstream end of Hong Phone Thanh	
LA-7	Downstream of Hong Ke (Hong Ke Bridge)	Same location of MP 2
LA-8	Downstream end of Hong Ke (at the confluence with That Luang Marsh)	
LA-9	That Luang Marsh at downstream end of Hong Ke	
LB-1	Upstream end of Hong Wattay	
LB-2	Confluence of a tributary and Hong Wattay	
LB-3	Downstream end of a tributary of Hong Wattay	
LB-4	Confluence of Nam Pasak and Hong Wattay	
LB-5	Downstream end of Nam Pasak	Same location of SP 2
LB-6	Confluence of Hong Pasak and Hong Xeng	
LB-7	Upstream end of Hong Pasak	
LB-8	Downstream end of Hong Pasak	
LB-9	Confluence of Hong Kai Keo and Hong Xeng	
LB-10	Downstream end of Hong Kai Keo	Same location of SP 6
LB-11	Downstream of Hong Xeng (Hong Xeng Bridge)	Same location of MP 1
LB-12	Downstream end of Hong Xeng (at the confluence with That Luang Marsh)	
LB-13	That Luang Marsh at downstream end of Hong Xeng	
LB-14	Downstream end of That Luang Marsh	Same location of SP 9

(b) 調査頻度

表 2.5.7 に示すように、縦断同時モニタリングは、乾期(11月～4月に)2回、雨期(5月～10月に)に1回の合計3回実施した。

表 2.5.7 縦断同時モニタリング 調査頻度

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

(c) 調査方法および調査項目

水質分析は、原則として簡易分析機材を用いて行った。しかしながら、BOD、SSについては、タイの信頼できるラボに分析を依頼した。表 2.5.8 に、調査項目および調査方法を示す。

表 2.5.8 縦断同時モニタリングにおける調査項目と調査方法

Group	Classification	Parameters	Analysis Methods	Analytical Equipment
I	Stream flow	Depth and width of flow, velocity	Field measurement	Potable electro-magnetic velocity meter (KENEK/VE20)
II	Field observation item	Odor, color, air temperature	ditto	Surveyor
III	Basic item	(1) pH, EC, turbidity, DO, water temperature, TDS, ORP	ditto	Potable equipment (Horiba Multi Water Quality Checker U-50)
		(2) NH ₃ -N, NO ₂ -N, NO ₃ -N, PO ₄ -P	ditto	Potable equipment (HACHCEL/850)
IV	Organic pollutant	(1)COD _{Mn}	ditto	Pack test (WAK-COD)
		(2)BOD, SS	Analysis in Laboratory	A laboratory in Thailand: BOD:Azide modification method SS :Total suspended solids dried at 103-105 degree Celsius

2.5.2 調査結果

(1) 定期モニタリング

定期モニタリングの結果を以下に示す。

(a) 流量

15箇所の調査地点における流量の季節変化を図 2.5.4 に示す。これより、SP1、SP3～SP8 および MP3、すなわち、Hong Ke、Hong Xeng および That Luang 湿地の上中流域、あるいは、Hong Pasak や Hong Wattay などの支川においては、雨期(6月と7月)の流量が乾期(2月、3月、11月および12月)のそれを1～5倍程度上回る。

一方、SP2、SP9、MP1、MP2、および MP4 から MP6 等の調査地点、すなわち、Hong Ke、Hong Xeng に位置し、かつ比較的大きな流域を持つ地点、および Mak Hiao 川本線に位置する地点においては、雨期の流量が乾期の流量の約5倍(MP2にて観測)～45倍(SP2にて観測)に達する。

乾期における月別変動に着目すると、Mak Hiao 川下流に位置する MP4、MP5 および MP6 においては、11月の観測値が、2月値と3月値を上回っていた。これは、雨水の影響を示すものである。しかしながら、12月の観測値を見ると、雨水の影響は減少し2月と3月の値に近いものであった。

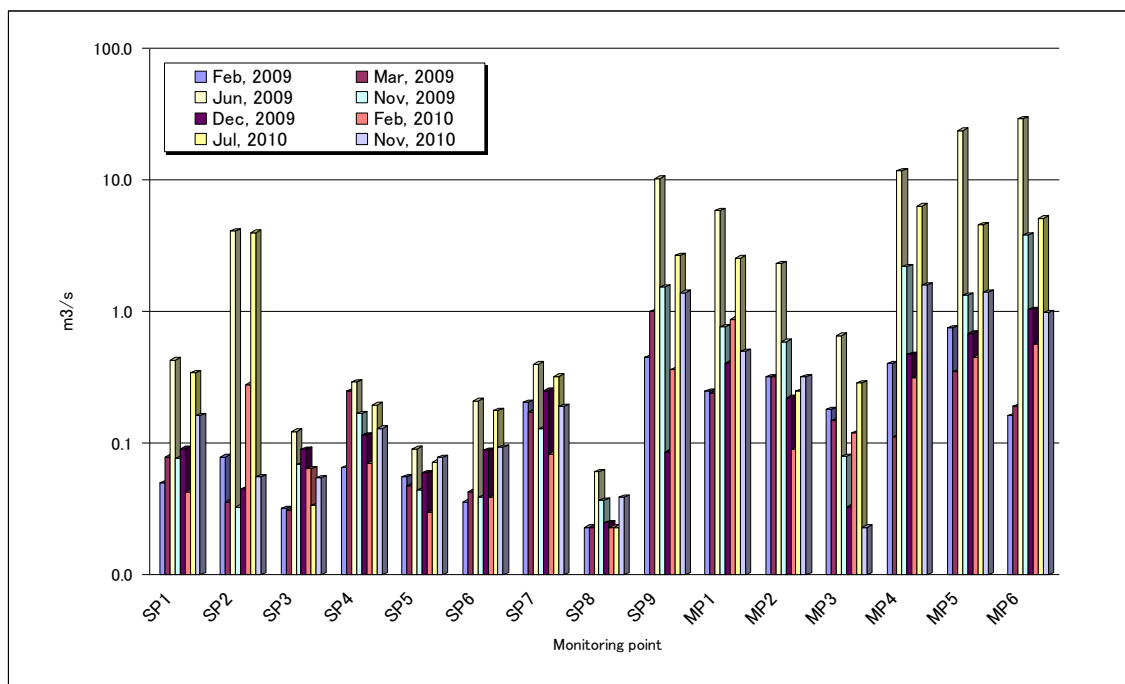


図 2.5.4 定期モニタリングにおける流量観測値(対数表示)

(b) BOD, SS

BODについては、2009年2月および3月にはERI-WREAに分析を依頼し、2009年6月よりタイの分析所に依頼した。図2.5.5から図2.5.10に、2009年6月から2010年11月のBODの分析結果を示す。

これより、Hong KeおよびHong Xengの中下流域においては、雨期(6月および7月)の観測値が、乾期(11月および12月)に入るにつれBODは次第に増加する。一方、Mak Hiao川の下流に位置するMP5やMP6においては、BODの観測値は2.0 mg/l以下から3.1 mg/lを推移しており、季節変動は認めなかった。

BODの最大値は、2010年11月にHong Pasak (SP3)で観測された32.6 mg/lであり、それに、2009年12月にHong Xengの下流端(MP1)で観測された29.2 mg/lと、2010年2月にSP3で観測された29.0 mg/lが続く。しかしながら、総じてBODの観測値は約30 mg/l程度に留まった。

SSについては、Hong KeとHong Xengおよびその支川における観測値は10~50 mg/l程度であった。一方で、Mak Hiao川の本流(MP4~MP6)においては、観測値が40~100 mg/l程度となった。SSの最大値は、That Luang湿地の上流端(MP3)において2010年2月に観測された198 mg/lでありそれに、2010年6月に同じくMP3で観測された184 mg/lと、2009年12月にMP5で観測された168 mg/lが続いた。これらの高いSS観測値は、有機汚濁分によるものではなく、集水域に位置する裸地や田畑から流出する砂やシルト分によるものと考えられる(図2.5.11参照)。

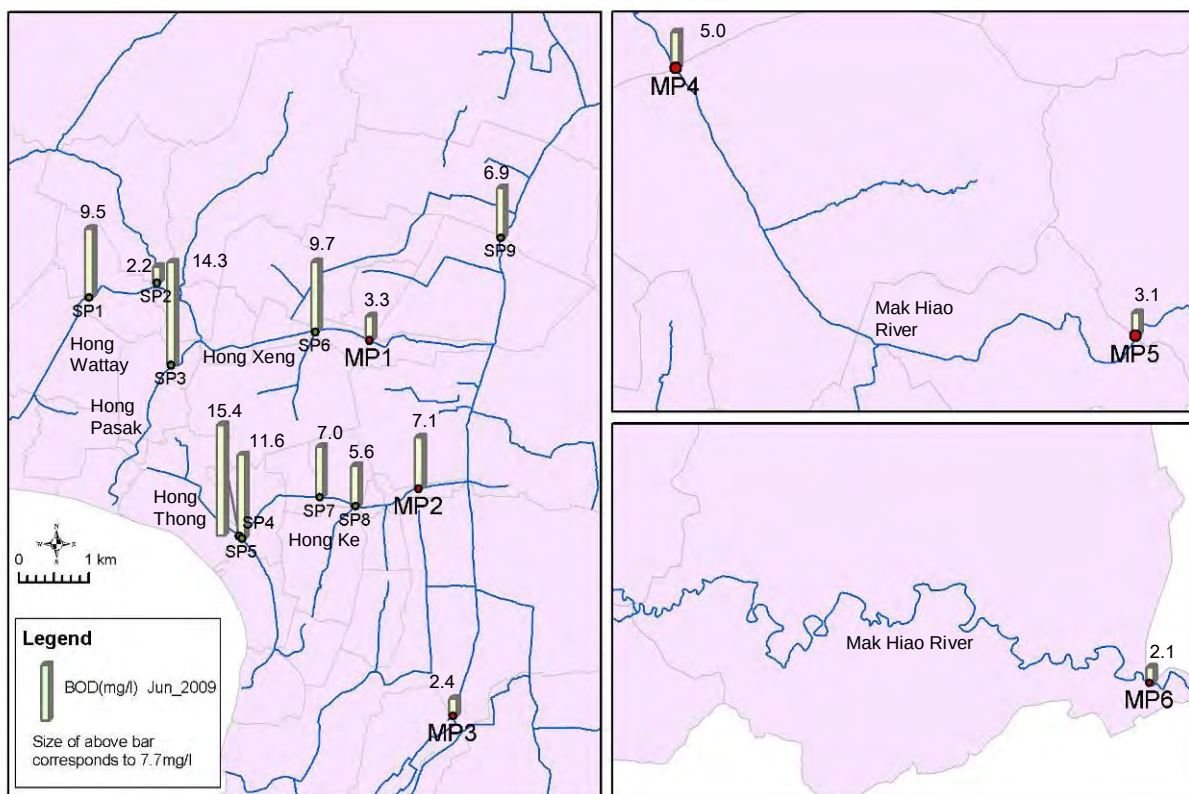


図 2.5.5 定期モニタリングにおける BOD 観測値(2009 年 6 月)

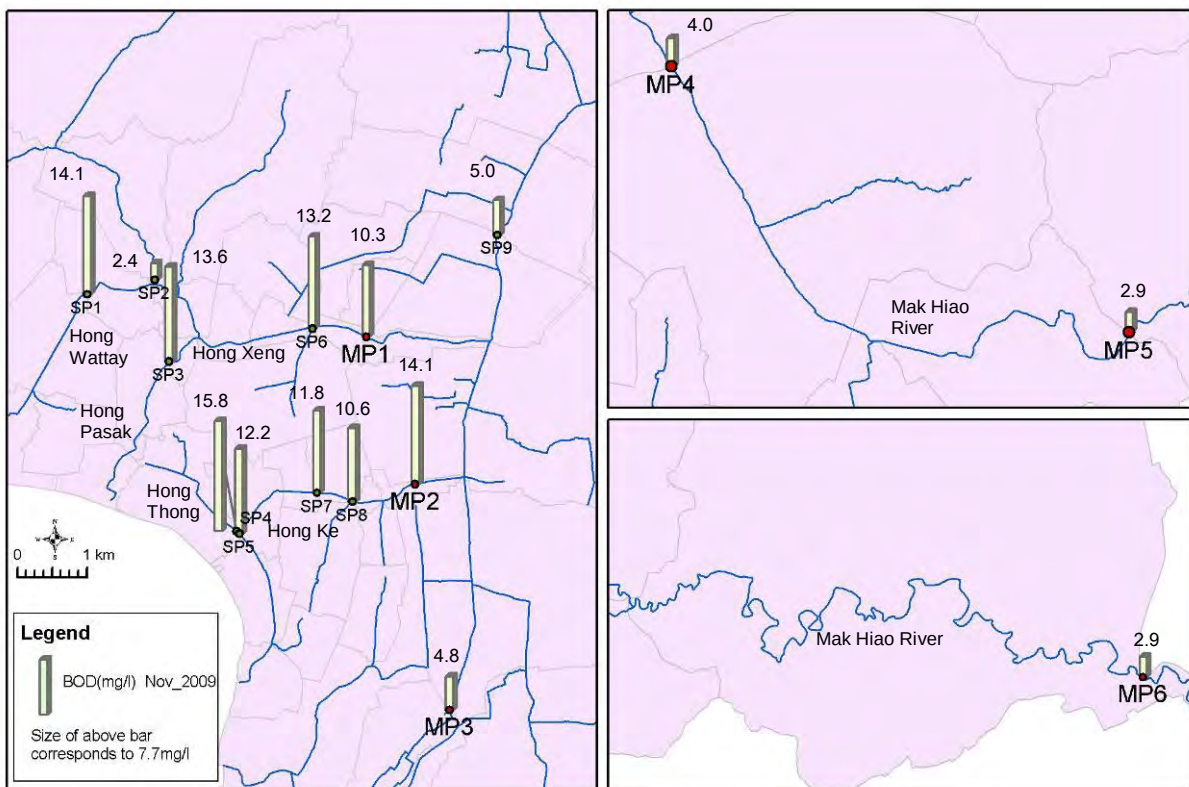


図 2.5.6 定期モニタリングにおける BOD 観測値(2009 年 11 月)

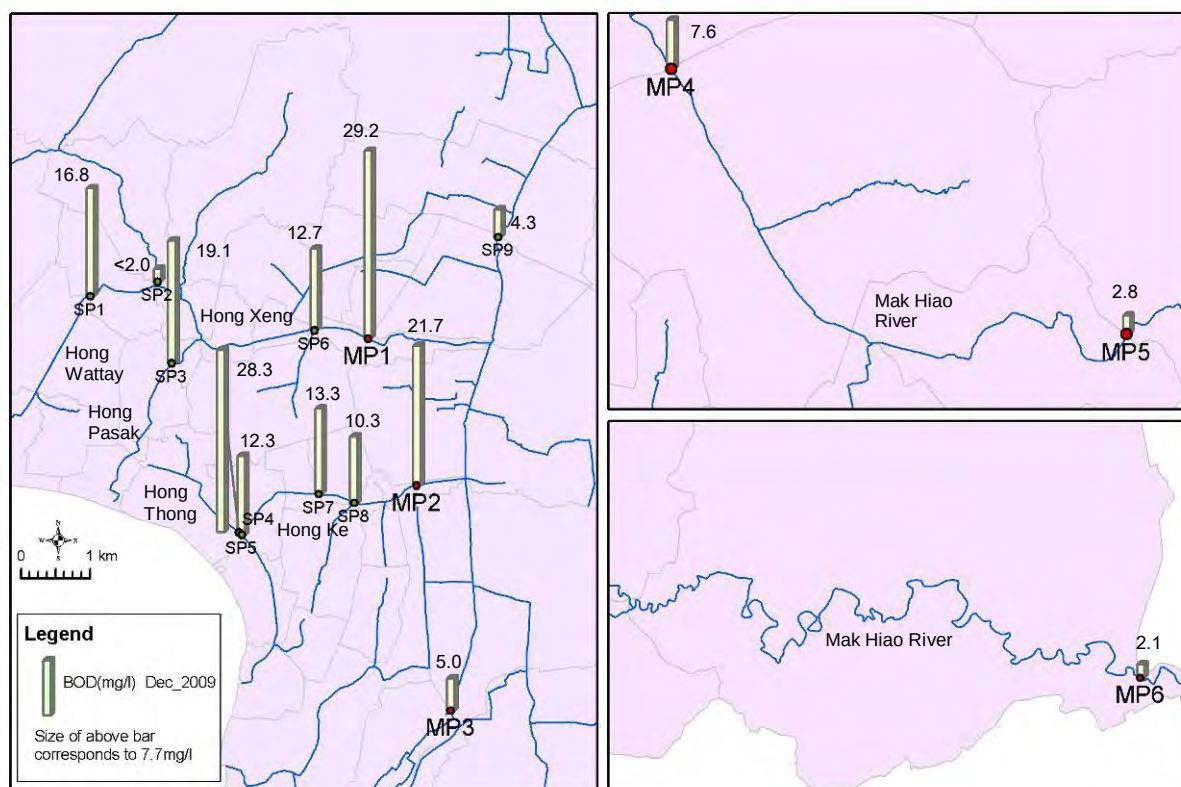


図 2.5.7 定期モニタリングにおける BOD 観測値 (2009 年 12 月)

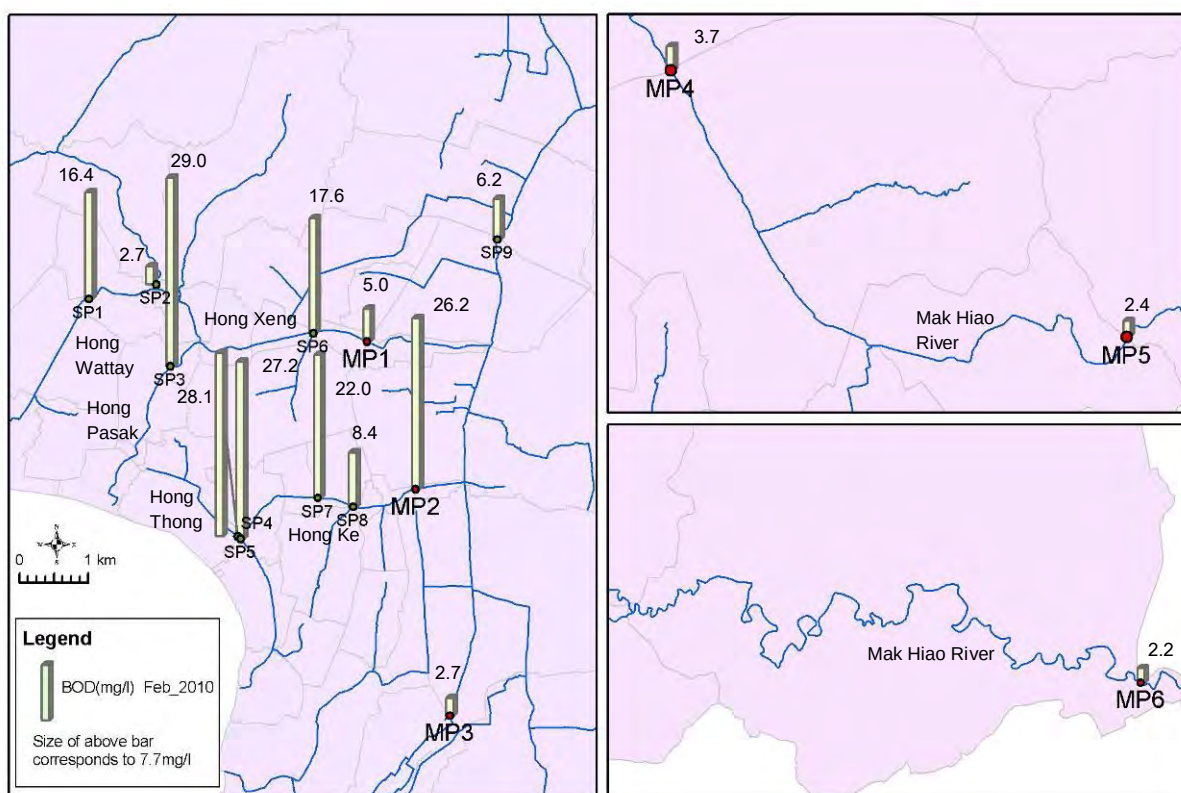


図 2.5.8 定期モニタリングにおける BOD 観測値 (2010 年 2 月)

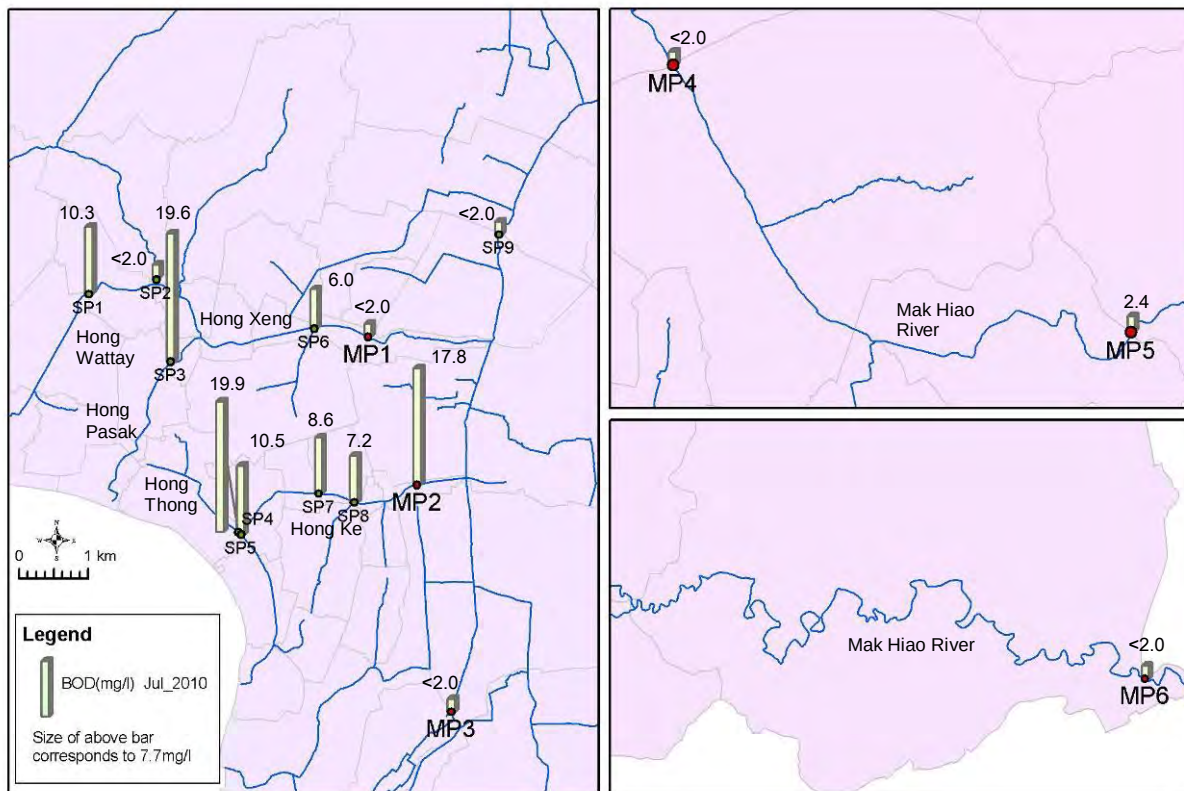


図 2.5.9 定期モニタリングにおける BOD 観測値(2010 年 7 月)

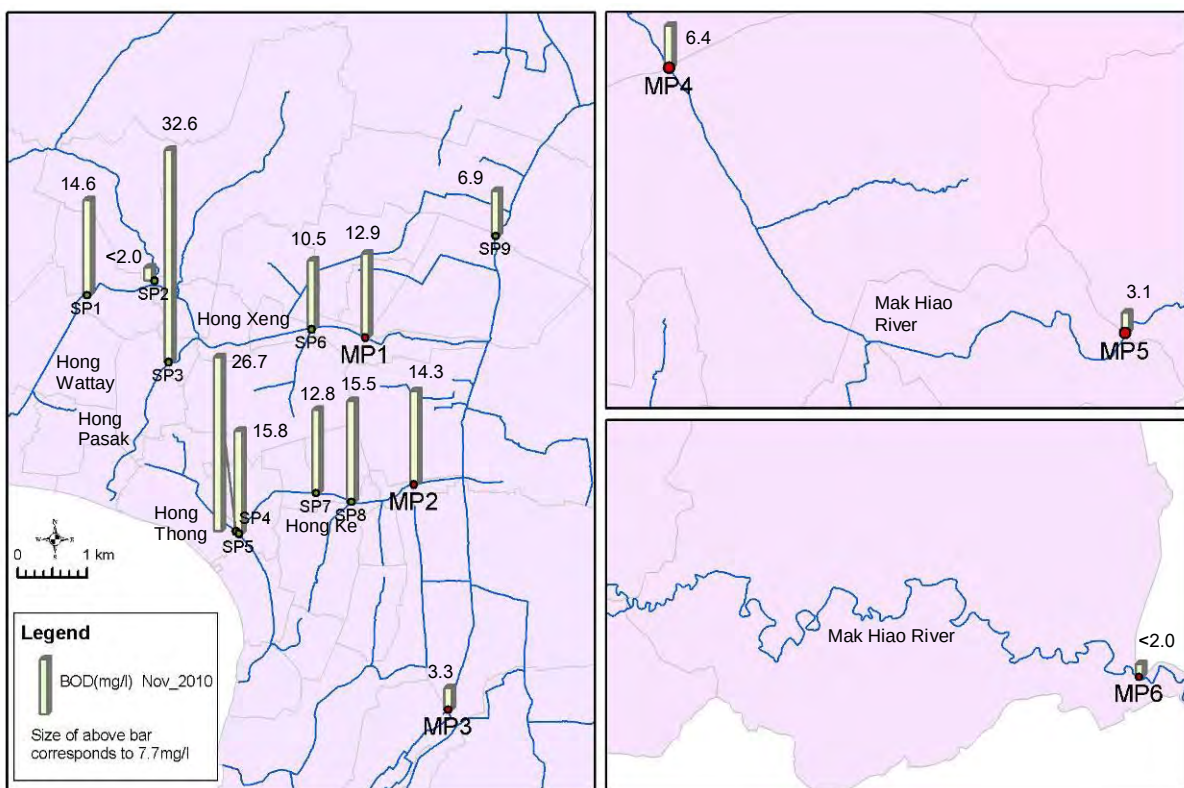


図 2.5.10 定期モニタリングにおける BOD 観測値(2010 年 11 月)

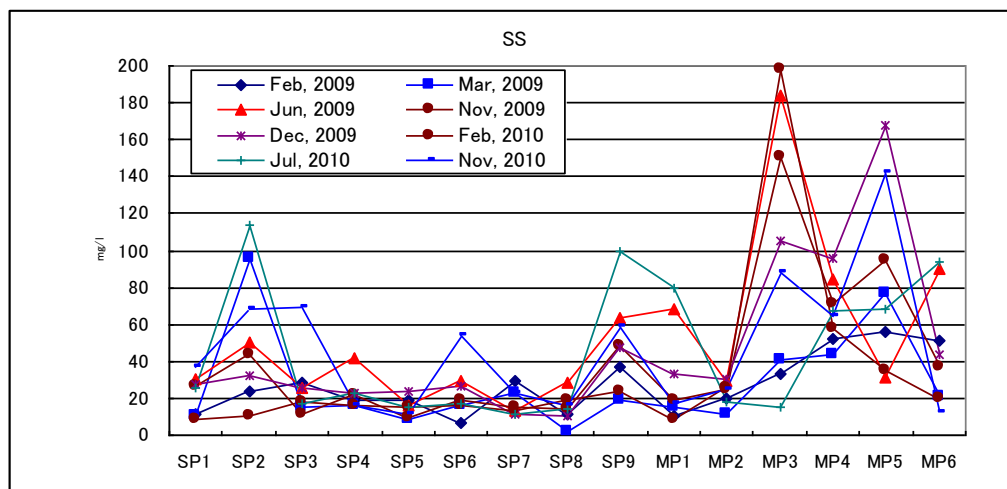


図 2.5.11 定期モニタリングにおける SS 観測値

(c) 総大腸菌群数および糞便性大腸菌群数

大腸菌群数については、2009 年 2 月および 3 月には WERI-WREA に分析を依頼し、2009 年 6 月以降、タイの分析所に依頼した。図 2.5.12 には、2009 年 11 月から 2010 年 11 月までの総大腸菌群数および糞便性大腸菌群数を示している。なお、2009 年 6 月値については、選定した希釈率により調査地点間の相違点が明確にならなかったことから、図 2.5.12 には掲載していない。

Hong Ke や Hong Xeng の下流およびその支川に位置する調査地点 SP3、SP4、SP6、SP7 および MP2 においては、雨期を含めて、総大腸菌群数および糞便性大腸菌群数ともに 100,000 MPN/100 ml かそれ以上を記録した。この値は、これらの観測地点で採取された水のほとんどが、家庭および営業系の廃水で占められていることを意味する(『流域別下水道整備総合計画 指針と解説 -日本下水道協会-』によると、60%以上の下水処理場においては、その流入水中の大腸菌群数が 100,000 MPN/100 ml を上回っていたと報告されている)。

2009 年 11 月以降の調査において、ラオス国の表流水質基準(総大腸菌群数:5,000 MPN/100 ml 以下、糞便性大腸菌群数: 1,000 MPN/100 ml 以下)を満足したのは、MP5 の 2009 年 11 月値と MP6 の 2009 年 11 月・12 月、2010 年 2 月・11 月値のみであった。

図には参考として BOD の観測値を掲載した。これより、BOD が低い(概ね 5.0 mg/l)観測地点では、総大腸菌群数/糞便性大腸菌群数の観測値も低く、BOD と大腸菌群数には、ある程度の相関が見られることがわかった。

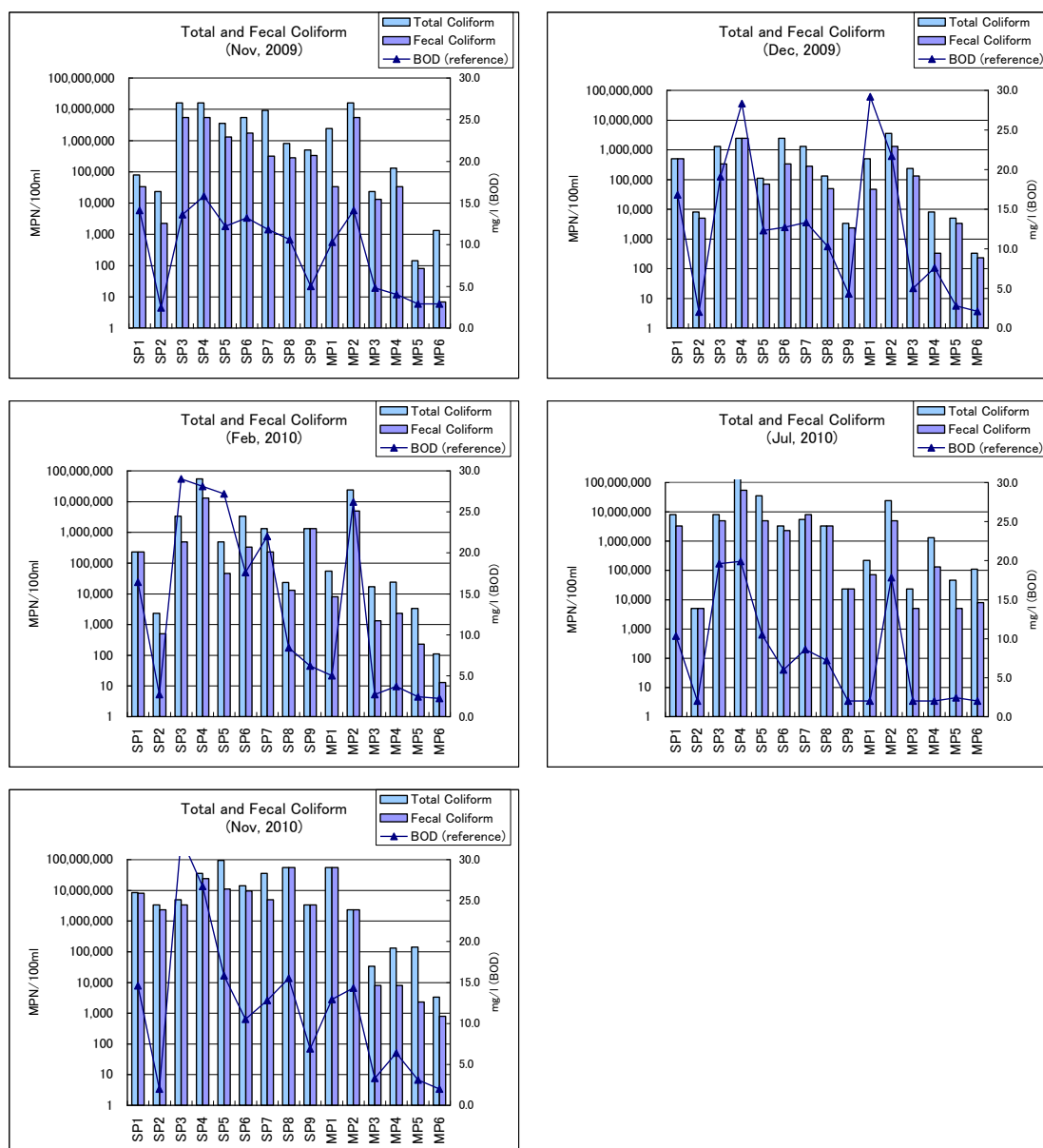


図 2.5.12 定期モニタリングにおける総大腸菌群数および糞便性大腸菌群数の観測値

(d) 窒素・リン

図 2.5.13 に示すとおり、Hong Ke と Hong Xeng の上中流およびその支川における $\text{NH}_3\text{-N}$ 観測値は、Hong Ke と Hong Xeng の下流域および Mak Hiao 川本流での観測値より大きい傾向にあった。BOD と同様、Mak Hiao 川本流における低濃度の $\text{NH}_3\text{-N}$ は、希釈効果によるものと考えられる。

$\text{NH}_3\text{-N}$ と異なり $\text{NO}_3\text{-N}$ については、 $\text{NH}_3\text{-N}$ が高かった観測地点を含めて総じて 1.0 mg/l 以下に治まっており、調査地点間での値の相違は認められなかった。これは、Hong Ke や Hong Xeng に位置する調査地点では、汚濁負荷発生源から調査地点までの流下時間が、硝化に必

要な時間に比較して短いからであると考えられる。一方、Mak Hiao 川本流においては、希釈効果により $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が低くなるものと考えられる。

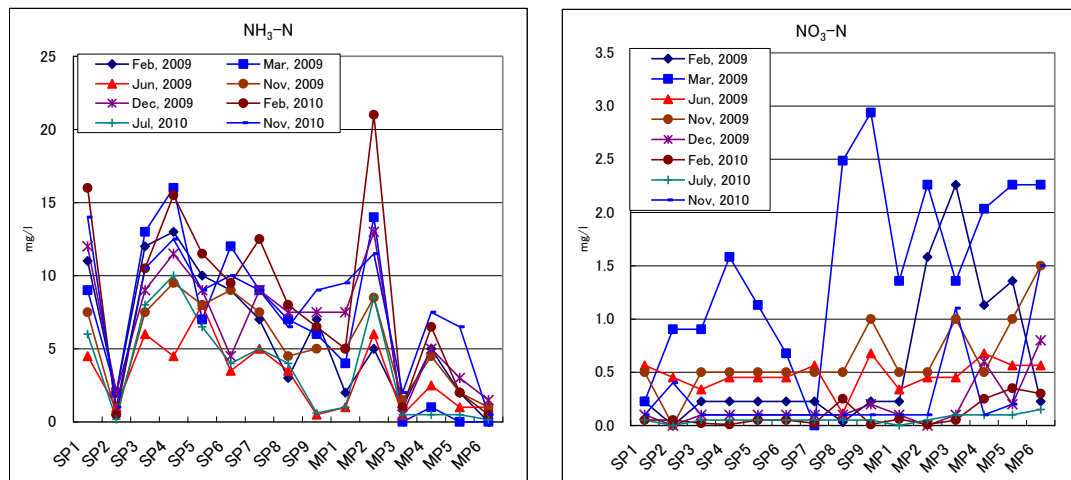


図 2.5.13 定期モニタリングにおける $\text{NH}_3\text{-N}$ および $\text{NO}_3\text{-N}$ の観測値

図 2.5.14 に示すとおり、リン($\text{PO}_4\text{-P}$)の観測値は、概ね 1.0 mg/l 以下であった。しかしながら、乾期においては、時として、1.5～2.5 mg/l に達する観測値が、いくつかの観測地点において記録された。次節にて詳述する縦断同時モニタリングの調査結果によると、SP1 における高い $\text{PO}_4\text{-P}$ は、調査地点 LB3 の上流に位置する屠殺場からの廃水に由来しているものと考えられる。

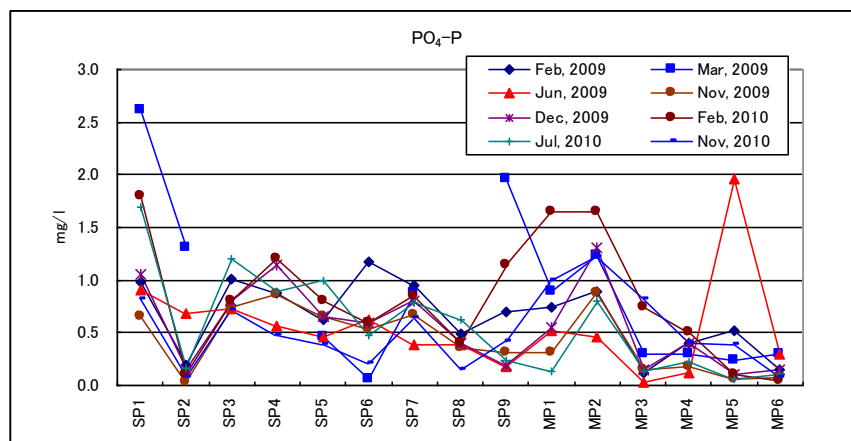


図 2.5.14 定期モニタリングにおける $\text{PO}_4\text{-P}$ の観測値

(e) 重金属・農薬

表 2.5.9 に示すとおり、カドミウム (Cd)、セレン (Se) および 6 価クロム (Cr^{6+}) については、全ての観測において検出されなかった(定量限界以下であった)。他の重金属(水銀 (Hg)、鉛 (Pb) およびヒ素 (As))については、時折検出されたが、極めて低濃度(ラオス国の表流水水質基準以下; $\text{Cd}=0.005 \text{ mg/l}$, $\text{Hg}=0.002 \text{ mg/l}$, Selenium (Se): no standard, $\text{Pb}=0.050 \text{ mg/l}$, $\text{As}=0.010 \text{ mg/l}$, $\text{Cr}^{6+}=0.050 \text{ mg/l}$) であった。

表 2.5.9 定期モニタリングにおける重金属の観測値

No.	Parameters	Unit	2009				Detection Limit
			Feb	Mar	Jun	Nov	
(1)	Cadmium(Cd)	mg/l	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	0.006
(2)	Mercury(Hg)	mg/l	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0006 -0.0011	0.0005
(3)	Selenium(Se)	mg/l	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0005
(4)	Lead(Pb)	mg/l	<0.031	<0.031	0.005 -0.015	0.006 -0.019	1)
(5)	Arsenic(As)	mg/l	0.0022 -0.0036	0.0020 -0.0050	0.0004 -0.0020	<0.0003	0.0003
(6)	Hexavalent chrome(Cr ⁶⁺)	mg/l	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	0.006
No.	Parameters	Unit	2009	2010			Detection Limit
			Dec	Feb	Jul	Nov	
(1)	Cadmium(Cd)	mg/l	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	0.006
(2)	Mercury(Hg)	mg/l	<0.0005	0.0005 -0.0012	0.0005 -0.0009	0.0007 -0.0030	0.0005
(3)	Selenium(Se)	mg/l	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0005
(4)	Lead(Pb)	mg/l	0.016 -0.027	0.015 -0.018	<0.003	<0.003	1)
(5)	Arsenic(As)	mg/l	<0.0003 -0.0055	<0.0003 -0.0016	0.0009 -0.0024	0.0017 -0.0047	0.0003
(6)	Hexavalent chrome(Cr ⁶⁺)	mg/l	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	0.006

Note: 1) Detection limit is changed due to the change of analysis method, as follows.

0.031 mg/l for February and March, 2009 with method of nitric acid digestion and direct air-acetylene flame method

0.003 mg/l from June 2009 with method of nitric acid digestion and inductively coupled plasma method

農薬 3 項目(シマジン・チウラム・チオベンカルブ)については、2009 年から始まった全てのモニタリング調査において定量限界以下であったため、2010 年 6 月以降のモニタリング調査では、サンプリングおよび分析を割愛した。

表 2.5.10 定期モニタリングにおける農薬の観測値

No.	Parameters	Unit	2009					2010	Detection Limit	Reference ³⁾
			Feb	Mar	Jun	Nov	Dec	Feb		
(1)	Simazine	μg/l	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.5	≤ 3
(2)	Thiram	μg/l	<0.1	<0.1	<10.0	<10.0	<10.0	<10.0	1)	≤ 6
(3)	Thiobencarb	μg/l	<0.1	<0.1	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	2)	≤20

Notes: Detection limit is changed due to the change of analysis method, as follows.

1) 0.1 μg/l for February and March, 2009 with method of gas chromatography/mass spectrometric method
10.0 μg/l from June 2009 with method of high performance liquid chromatographic method

2) 0.1 μg/l for February and March, 2009 with method of high performance liquid chromatography/mass spectrometry/mass spectrometric method

3) Environmental quality standards for human health, Japan

(f) その他

定期モニタリング結果より、以下に示すような特徴が見られた。

- pH: 概して、雨期の観測値は乾期のそれより低かった。
- 濁度: SP2、MP3 および MP5 など高濃度の SS が観測された地点では、濁度も同じく高く、SS と濁度の間で相関が見られた。

- ORP: SP4、MP2 などの高濃度の BOD を観測した地点では ORP が 0 以下で、嫌気状態であることを示した。
- アルカリ度: アルカリ度についても、雨期の観測値が、乾期の観測値を下回った。
- 鉄: 鉄濃度については、雨期の観測値が乾期の値を上回った。

(2) 縦断同時モニタリング

縦断同時モニタリングは 2009 年 6 月から開始し、合計 3 回(2009 年 6 月・11 月および 2010 年 11 月)に実施した。その結果の概要を以下に示す。

(a) BOD, SS, 窒素およびリン

BOD については、図 2.5.16 に示すとおり、その最大値が 2009 年 11 月に LB3 にて観測され、その値は 362.0 mg/l であった。LB3 においては、さらに、2010 年 11 月にも、209.0 mg/l の高い観測値が得られた。また、雨期(2009 年 6 月)においても観測値が 48.3 mg/l に達した(図 2.5.15 および図 2.5.17 参照)。

一般に、高濃度の BOD は、LB7(Hong Pasak の上流)、LA3(Hong Thong の下流端)および LA8(Hong Ke の下流端)など、Hong Ke や Hong Xeng の下流やその支川で観測され、その各地点における最大値は、37.6 mg/l、28.0 mg/l および 27.9 mg/l であった。一方、Mak Hiao 川の本流に位置する LB13 などでは、BOD は、希釈効果によりそれほど高くならなかった。

非常に高い BOD が観測された LB3 においては、SS、NH₃-N および PO₄-P もまた、非常に高いものであった。例えば、2009 年 11 月の観測値を見ると、SS、NH₃-N および PO₄-P は、それぞれ、262.0 mg/l、34.0 mg/l および 6.70 mg/l に達した。これは、LB3 の上流に位置する屠殺場廃水に起因するものと考えられる。一方で、LB3 の直下流に位置する LB4 においては、BOD、SS、NH₃-N および PO₄-P は、各々 11.9 mg/l、17.9 mg/l、8.5 mg/l および 0.49 mg/l と激減している。これは、希釈効果によるものと考えられる(LB3 と LB4 における、2009 年 11 月の流量観測値は、各々、0.025 と 0.118 m³/s であった)。一方、NO₃-N は、LB3 と LB4 ともに 0.5 mg/l であった。

SS については、LB3 を除く観測地点で、20～50 mg/l の観測値を得た。

(b) DO

図 2.5.18 に DO の観測結果を示す。これより、雨期(2009 年 6 月)には、特に Hong Pasak の下流端(LB8)と Hong Ouay Louay の下流端(LA5)において、非常に高い DO 値が観測され、その値は、それぞれ、18.88 mg/l および 14.37 mg/l であった。一方、乾期(2009 年 11 月)においては、観測地点 LA4 と LB4 において、18.71 mg/l および 17.84 mg/l に達する高い DO 値が観測された。

これらの観測値は過飽和に達するレベルであるが、DO 値が高い観測地点は、一般に水深が浅く(約 10 cm 以下)、植生が繁茂している状況が共通していた。このような状況を考慮すると、DO 値が高い理由は、水深が浅いことによる表面曝気の促進や植物による光合成により

酸素が供給されること等が考えられる。また、DOが高い観測地点では、概して pH 値も高い。これは、光合成により OH⁻イオンが増加するためで、光合成による DO 値の押し上げを裏打ちしているものと考えられる。

一方で、BOD が高い観測地点では、DO 値の観測値は総じて低いものであった。

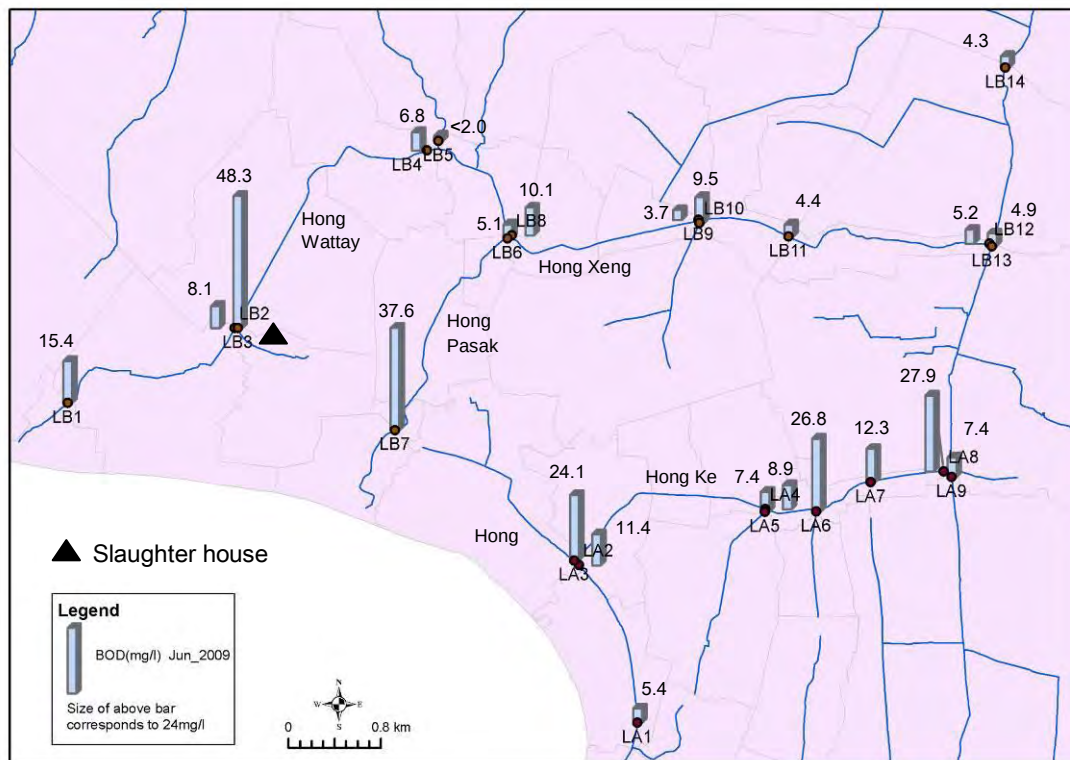


図 2.5.15 縦断同時モニタリングにおける BOD 観測値(2009 年 6 月)

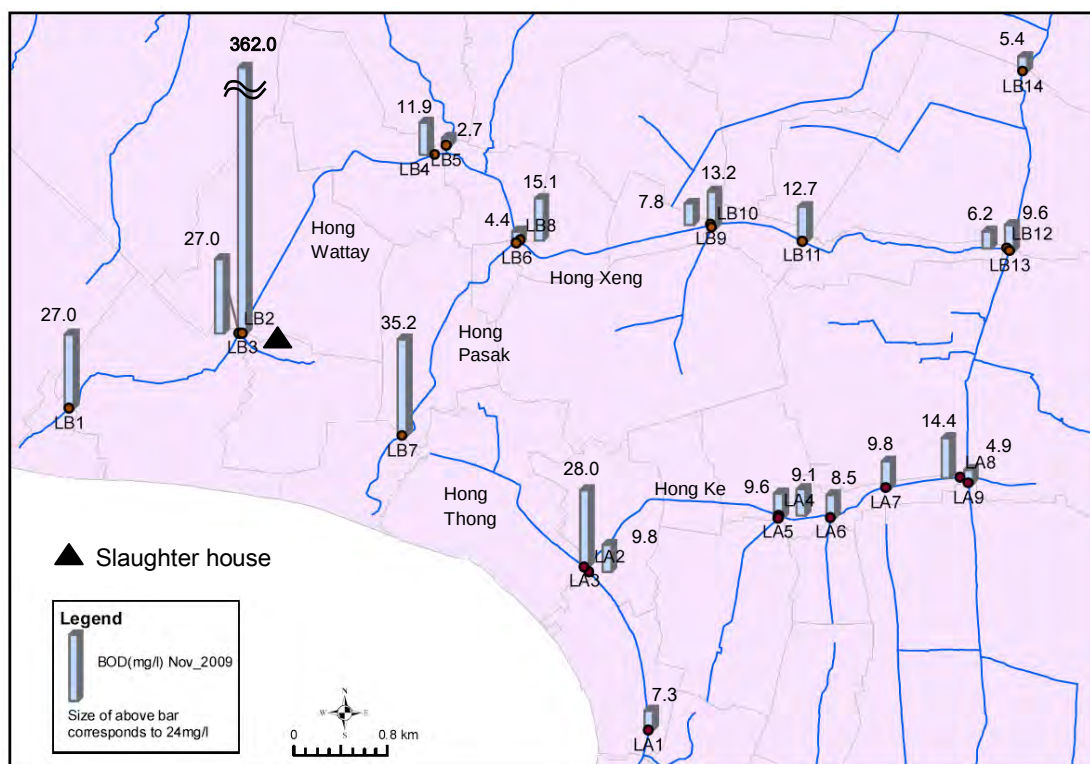


図 2.5.16 縦断同時モニタリングにおける BOD 観測値(2009 年 11 月)

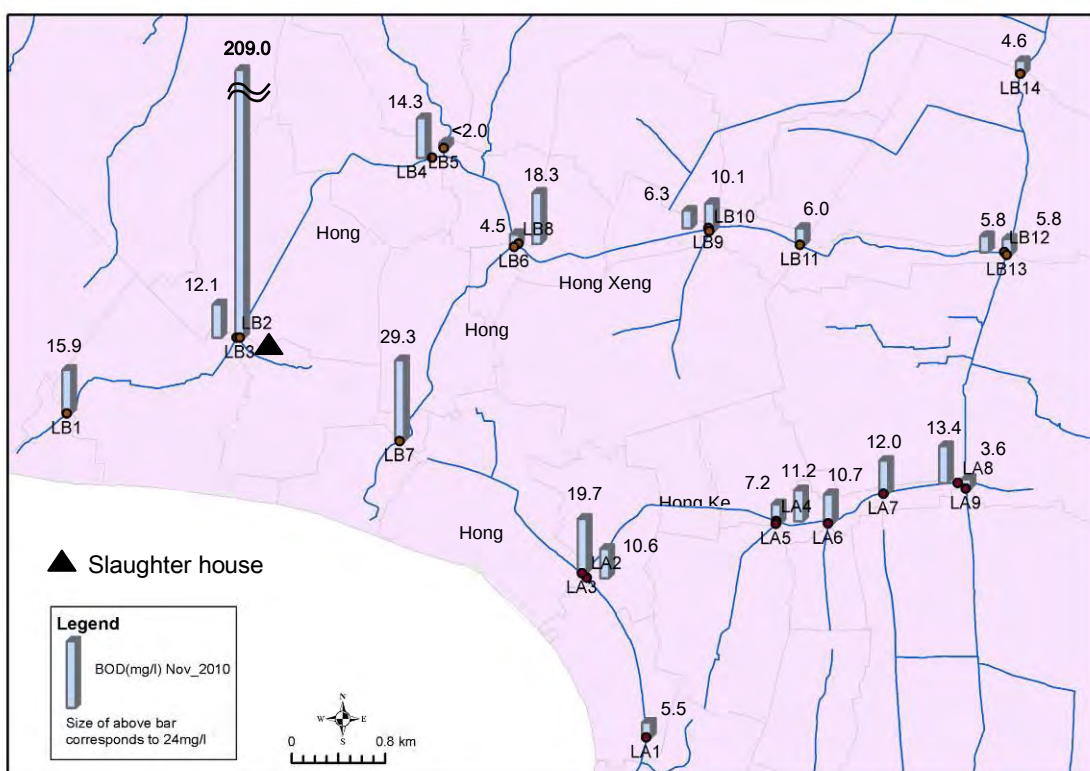


図 2.5.17 縦断同時モニタリングにおける BOD 観測値(2010 年 11 月)

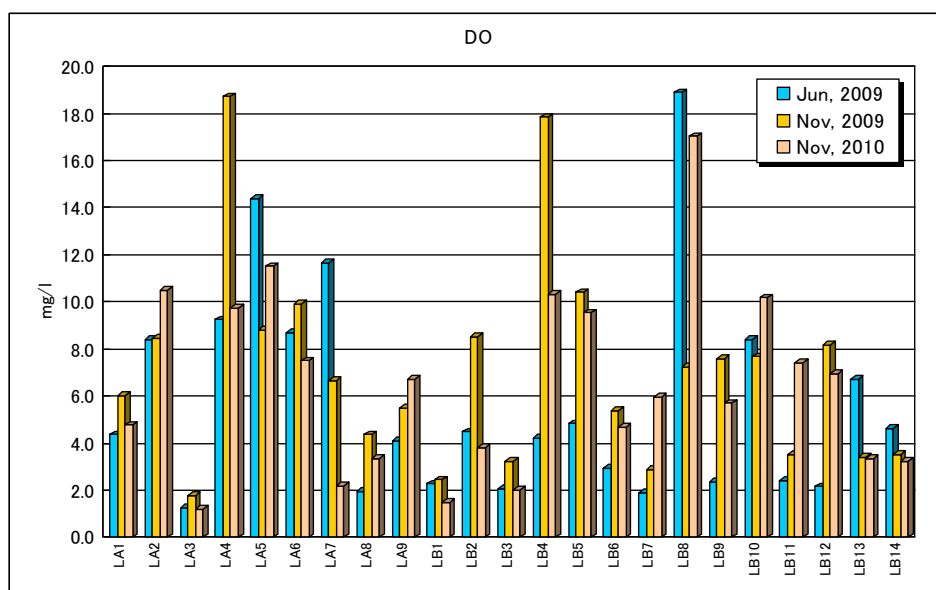


図 2.5.18 縦断同時モニタリングにおける DO の観測値

(3) 観測結果のまとめと提言

定期および縦断同時モニタリングの結果のまとめと提言を以下に述べる。

- SP1 および SP3～SP8、つまり、Hong Ke と Hong Xeng の本線やその支流で観測された大腸菌群数(総大腸菌群数/糞便性大腸菌群数)から判断すると、その採取水は、汚水が支配的であると考えられる。しかしながら、BOD の濃度はあまり高くなく、乾期においても 10 mg/l～35 mg/l の範囲であった。一方、Mak Hiao 川の本線での BOD 値は、季節変動はあまりなく 2～3 mg/l 程度の値であった。
- Hong Ke と Hong Xeng の本線やその支流の NH₃-N 観測値は高いが、Mak Hiao 川の本線では、BOD 値と同様、観測値は急激に減少する。
- NO₃-N の観測値は、ほとんどの観測地点で 1.0 mg/l 以下で、かつ地点間であまり違いが見られなかった。
- いくつかの観測値を除いて、PO₄-P については、概ね 1.0 mg/l 以下であった。
- 全ての重金属(6 種類)、農薬(3 種類)は、定量限界以下か非常に低濃度であった。このことから、水環境への影響は特にないと考えられる。

2.5.3 工場排水

工場排水の処理や放流の状況を把握するため、調査エリア内に位置する既存工場の視察を行った。視察した工場は WERI-WREA と商工省との協議を踏まえて選定したものである。

WERI-WREA と商工省およびビエンチャン市商工部は、各工場の Inventory に関する情報は保有している。しかしながら、工場への査察や排水モニタリング等の重要性については認識しているものの、実際には、予算や人員の制限により、これらの活動はほとんど行われていない。したがって、工場排水にかかるデータも、ほとんどない状況にある。

表 2.5.11 に、Mak Hiao 川流域の水質に影響するかどうかを含めて、既存工場の視察結果をまとめたが、これらの工場は、Mak Hiao 川への影響はあまりないか、流域外に位置することがわかった。

表 2.5.11 調査エリアに位置する既存工場の調査結果

No.	Name of Factories	Existing Condition of the Factories
1	Beer Lao	Beer Lao は、That Luang 湿地の南端に位置するビールや飲料を生産する大規模工場である。発生する廃水は、嫌気および好気処理を組み合わせた処理施設(処理能力:3,500 m ³ /day)で処理され、工場に隣接する排水路に放流されている。排水路はメコン河に繋がっており、年間を通じて放流水は Mak Hiao 川流域の水質に影響することはない。
2	Paper factory	本工場は、Beer Lao から北 1.5 km に位置し、白濁した廃水を放流している。しかしながら、廃水量は寡少であり、かつ Mak Hiao 川の流域外に位置している。
3	Slaughter house located in Dondou Village	本工場は、That Luang 湿地の西側にある Dondou 村内に位置する。工場内には、屠殺工程からの廃水を貯留するピットが設けられているが、調査時には、ピット内に廃水は認められなかった。また、本工場も Mak Hiao 川の流域外に位置していることがわかった。
4	Slaughter house located in Nongdouang Village	2.4.2 節で述べたように、本工場は、縦断同時モニタリングの調査地点(LB3)の上流に位置し、かなり汚染された廃水を放流している。モニタリング結果によると、汚染範囲は局部的であるが、本調査で実施する水質汚濁解析には、本工場からの発生負荷を推定し、モデル上に組み込むこととした。
5	Noodle factory	本工場は、Wattay 国際空港の東にある Nongsanokham 村内に位置する。しかしながら、本工場は小規模工場であり廃水量も微々たるものであった。
6	Garment factory located in Nakham Village	本工場は、Wattay 国際空港の東にある Nakham 村内に位置する。しかしながら、本工場は小規模工場であり廃水量も微々たるものであった。
7	Garment factory located in Donparlap Village	本工場は、Donparlap 村内の、モニタリング調査地点(SP3)に位置する。廃水は、工場に隣接する湿地に放流されていたが量は少なかった。また、その湿地が、付近の Hong Pasak に接続しているかどうか不明であった。
8	Existing factories located at Vientian Industrial Park	17 の工場が Vientiane Industrial Park にて既に稼働中である。これらの工場は、製鋼・木製品・シリコン工場等からなるが、工場廃水はほとんど発生していない。
9	Others	なめし皮工場のように、有毒、あるいは極度に汚染された廃水を排出する工場は、調査エリア内にはなかった。

2.5.4 ビエンチャン市の水環境を評価する汚濁解析モデルの構築

ビエンチャン市の水環境を評価し改善するために、人々の生活水準や社会経済・気象・水文状況の変化に配慮しつつ、汚濁負荷の流出状況を再現する汚濁解析モデルを構築した。このモデルを用いて、3 章で目標年次である 2020 年の水質予測ならびに対策工効果の評価を行う。

(1) モデル内での検討対象水質項目

水域は、汚濁解析モデル上で 2 種類、すなわち河川と閉鎖性水域に分類される。表 2.5.12 に示すように、河川と閉鎖性水域では特性が異なるがゆえに、検討対象水質項目も異なる。

本調査では、希釈による浄化が見込めない乾期を対象に汚濁解析を行うが、乾期における Mak Hiao 川は雨期とは異なり、流量が極端に減少するため、河川とみなすことが妥当である。したがって、解析モデル内で検討対象とする水質項目は BOD とする。

流量については、「流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説(日本下水道協会)」に基づき、低水流量(75%流量、Q₇₅)を用い、BOD 濃度を算出するものとする。

表 2.5.12 汚濁解析における河川と閉鎖性水域の特徴

	河川 (River)	閉鎖性水域 (Lake and Sea)
対象水質	BOD	COD、窒素、リン
水域内における水質汚濁解析	- 自然浄化作用(分解・沈殿・吸着)を見込む - 乾期(低水流量時)に対応する流出負荷量と流量によって解析する	- 移流、拡散、分解、沈降や、藻類による生産等を考慮する - 長期間の流達負荷が水質に影響する
流域から水域への汚濁負荷の流達	- 乾期(低水流量時)に対応する流達率を用いる。	- 乾期(低水時)に堆積した汚濁負荷が雨期(高水時)に流出する分も考慮する。一般に、平均的な流達率は、河川の場合より大きい
面源負荷量(non-point pollution load) 原単位	- 自然汚濁負荷量分を見込む	- 乾期に堆積した汚濁負荷は、降雨時に流出する - 原単位は、田畑、市街地、山林等に区分して設定する - 降雨による汚濁負荷も考慮する

Source: Guidelines for Planning of Regional Sewerage, The Japan Sewerage Works Association

(2) 発生汚濁負荷と流出汚濁負荷

汚濁解析を行うためには、通常、kg や g で表現される発生負荷量を求める必要がある。発生負荷量は、1)点源負荷(家庭排水・営業排水・工場排水に由来する)、と 2)非点源負荷(田畑・森林に由来する)に区分される。

発生した汚濁負荷は、側溝や小水路、排水管を経て水域に入る。そして、その汚濁負荷は河川の支川や本線における自然浄化を受け次第に浄化される。ある基準点に到達する汚濁負荷を流出汚濁負荷と呼ぶ。本調査では、ある地点に到達する汚濁負荷量を、以下に示す式を用いて求める。

$$\text{流出汚濁負荷} = \text{発生汚濁負荷} \times R_1 \times R_2$$

ここに R_1 : 流達率
 R_2 : 浄化残率

上記の式において、流達率とは、発生汚濁負荷のうち水域に到達する負荷量の割合を示す。一方、浄化残率とは、ある基準点に到達するまでに沈殿・吸着・分解などの自然浄化作用を受けた上で残存する負荷量の割合を示す。図 2.5.19 に、発生汚濁負荷と流出汚濁負荷の概念図を示す。

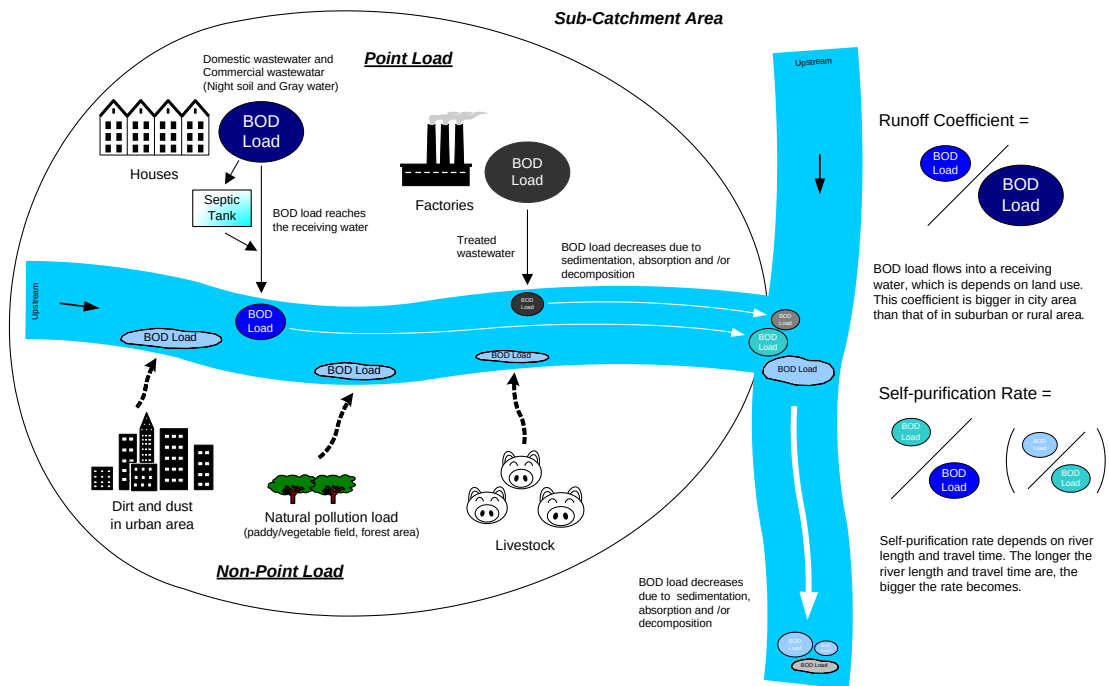


図 2.5.19 発生汚濁負荷および流出汚濁負荷の概念図

(3) 流達率

流達率については、次節(2.5.5)にて詳述する。

(4) 浄化残率

河川やその支川における浄化残率は、Streeter-Phelps 式を用いて算出する。この式によると、浄化残率は、流下時間に応じて指数関数的に減少する。この式を以下に示す。

$$C_{pur} = \exp^{-\left(\frac{C \times L \times 1000}{v_{ave} \times 86400}\right)}$$

ここに C_{pur} : 浄化残率
 C : 自浄係数
 L : 流路延長(km)
 v_{ave} : 平均流速(m/s)

図 2.5.20 に示すように、ある地点における BOD 濃度は、流達率、上記の式を用いて算出した浄化残率および流量から求められる。

本調査で用いる自浄係数については、次節(2.5.5)で述べる。

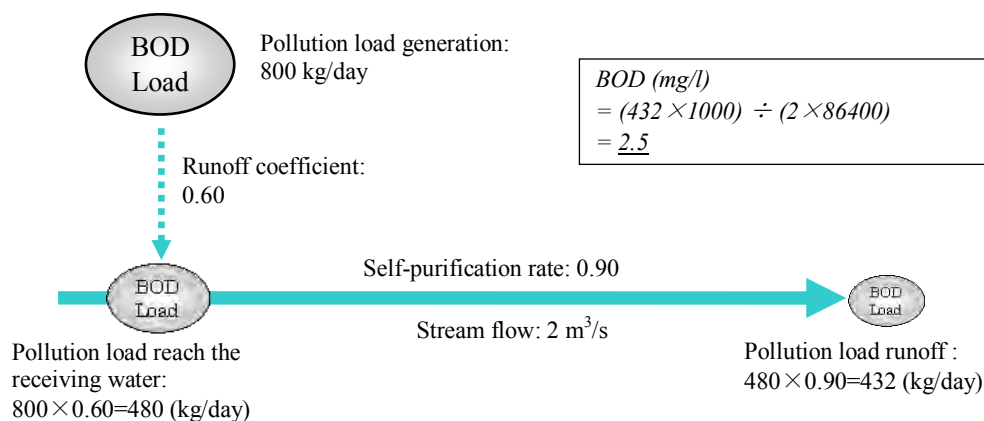


図 2.5.20 基準点における BOD 濃度の算出方法

(5) モデル中に組み入れる汚濁負荷

モデル中に組み入れる汚濁負荷は表 2.5.13 に示すとおりである。

表 2.5.13 モデル中に組み入れる汚濁負荷

Pollution load		Description
Point load	Domestic wastewater	本負荷は、人間活動から発生するもので、し尿と雑排水から構成され 1 人 1 日当りの原単位で与えられる。ビエンチャン市においては、当原単位に関する情報がないため、WHO のマニュアル ¹⁾ 中に記載された、発展途上国における標準値 45 g/人/日を用いる。計画人口は、計画投資省の統計局が発行する <i>Population and Housing Census</i> のデータを用いて算出する。
	Commercial wastewater	商業系汚水による汚濁負荷は、商業活動に由来する。本調査では、商業系汚水は、管渠による給水エリアから発生するものとし、井戸により給水が行われている郊外や農村部からは発生しないものとする。発生負荷量は、ビエンチャン市水道公社が保有する 2007 年の給水実績データに基づき、家庭汚水の 20% に相当する量とする。
	Industrial wastewater	本負荷は、加工や洗浄等に由来する工場廃水から発生するが、一般に Mak Hiao 川流域内に位置する工場は小規模であることから、Nongdouang 村に位置する屠殺場を除く工場廃水は、商業系汚水の一部に含まれるものとする。Vientiane Industrial Park から発生する負荷量は、目標年次(2020 年)に対して見込むものとする。
	Livestock	家畜については、牛・水牛、豚・山羊から発生する負荷量を見込むものとする。家畜数は、ビエンチャン市の農業森林局のデータを用いて推定する。目標年次(2020 年)の家畜数は、 <i>National Socio Economic Development Plan (2006-2010)</i> に記載された、年率 4% の増加率を用いて算出する。
Non-point load		これは、田畑や森林から発生する負荷である。本負荷についてもビエンチャン市でのデータがないことから、「流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説 - 日本下水道協会-」に示された、0.5~1.0 kg/km ² /day の中間値である 0.75 kg/km ² /day を使用する。

Note: ¹⁾ *Wastewater Stabilization Ponds -Principles of Planning & Practice-*, WHO

(6) 対象流域および人口予測

汚濁解析の対象流域面積は 412.5 km²(2009 年)、412.9 km²(2020 年)である。その流域は、地形や既存水路の流向や排水管のネットワーク等を考慮して更に 59 の小流域に分割される。

対象流域の全体図は、2.3 節の図 2.3.11 に示した。Hong Ke と Hong Xeng 流域における小流域境界は、図 2.5.21 に示した。

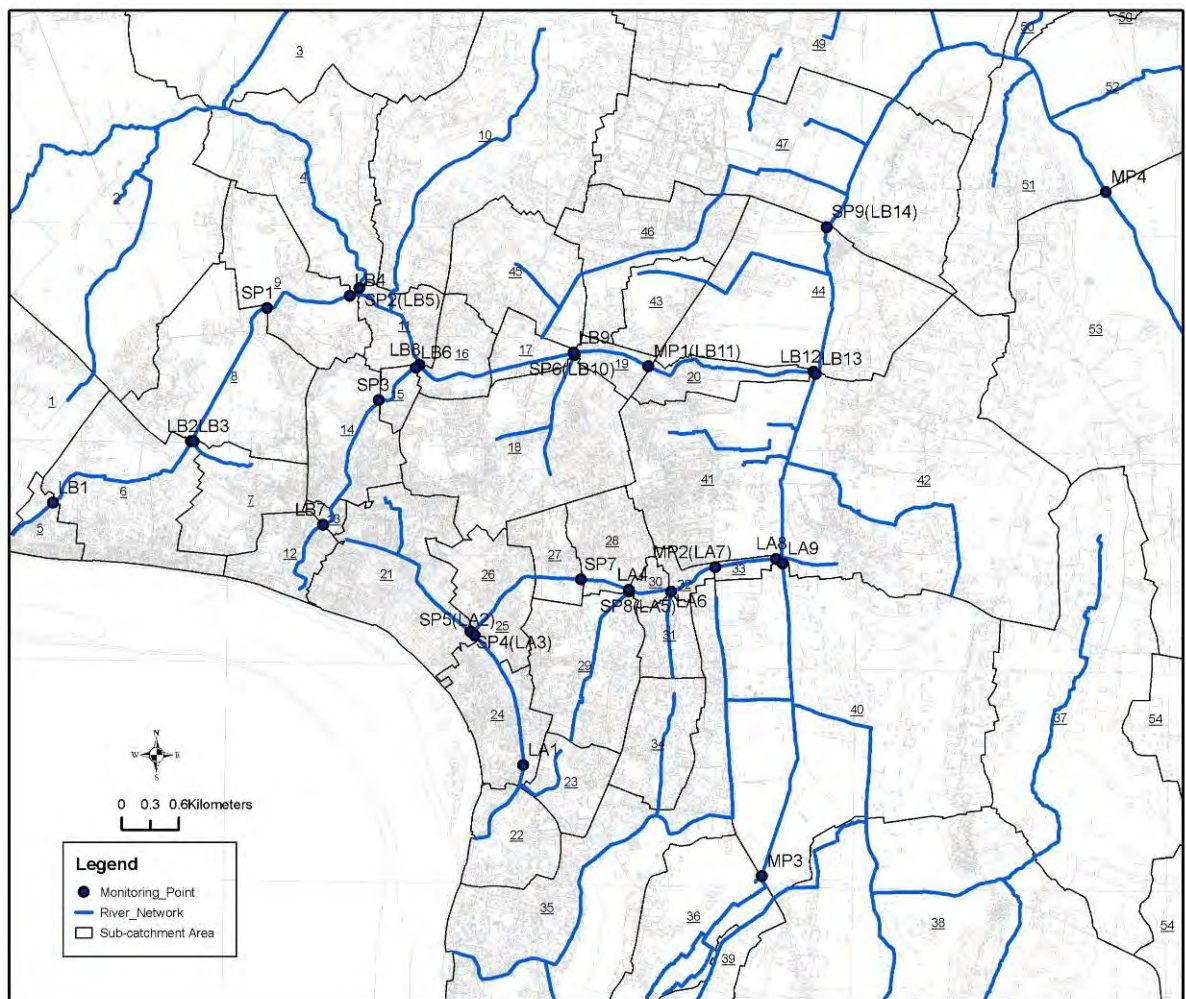


図 2.5.21 Hong Ke と Hong Xeng 流域における小流域境界

表 2.5.14 に、2009 年および 2020 年における流域内全体人口および、Hong Ke と Hong Xeng 流域内人口の予測値を併せて示す。2009 年の人口は、各処理区における 2005 年から 2020 年までの年平均増加率を用いて算出した。

4 つの新規開発エリア(That Luang Development area, Dong Phosy Development Area, Stadium Development Area and Vientiane Industrial Park)については、現在のところ計画人口が定められていないが、安全側の解析を行うため、そのエリア内の人口と汚濁負荷量を推定し、モデル内で考慮した。

表 2.5.14 汚濁解析における人口予測値

	Catchment Area (km ²)		Present (2009)=(1)	Target (2020)=(2)	Annual growth rate	Remarks (2)/(1)
	2009	2020				
Hong Ke catchment area	9.5	9.5	50,620	44,173	-0.90%	0.87
Hong Xeng catchment area	53.1	56.6	111,698	163,852	2.59%	1.47
Other area	350.0	346.8	200,490	290,897	2.51%	1.45
New development area	-	-	-	36,800	-	-
Sub-total (without new dev area)	-	-	-	462,122	-	-
Total	412.6	412.9	362,808	498,922	2.15%	1.38

Note: Value in italics is assumed one and subject to change if the detailed data is available hereafter.

表 2.5.15 に、新規開発エリアの人口予測値の詳細を示す。各開発エリアの人口は、住居地区 (Residential area)面積に、人口密度の仮定値 80 人/ha を乗じて算出した。

表 2.5.15 新規開発エリアの人口予測値 (推定値)

Area	Area (ha)						Pop. Density (person/ha)	Pop. Assumed
	Total	Resi- dential	Indus- trial	Pub. faci- lities	Untrans- ferable	Others		
1 That Luang Dev. Area	670.0	230.2	-	71.1	368.1	0.6	80	18,400
2 Dong Phosy Dev. Area	100.0	41.1	-	4.1	54.8	0.0	80	3,300
3 Studiam Dev. Area	430.0	129.9	58.7	58.2	150.9	32.3	80	10,400
4 Vientiane Industrial Park	484.5	58.5	410.0	-	-	16.0	80	4,700
Total	1,684.5	459.7	468.7	133.4	573.8	48.9		36,800

Note: Values in italics are assumed ones by the Study Team

(7) その他

(a) Vientiane Industrial Park における工場排水

Vientiane Industrial Park からの工場排水を、解析モデル内で目標年次 2020 年に対して見込む。開発エリア内の計画概要と水需要予測値が、表 2.5.16 に示すように *Preparatory Survey on Industrial Zone Development in the Lao People's, Democratic Republic* のレポートの中で示されている。

上記の計画値を考慮し、本エリア内から発生する工場排水を、**26,000 m³/day**と推定する。これは、5,600 m³/日(2015 年値)と 46,400 m³/日(2025 年値)の中間値に相当する。

流出負荷量は、**1,040 kg/day**と仮定する。これは、商工省による「一般工場」に関する排水基準(40 mg/l)を用いて算出したもので、本エリアにおける処理システムの詳細がまだ定まっていないことによる。

表 2.5.16 Vientiane Industrial Park の段階的整備計画および水需要予測

	Unit	2015	2025	最終計画
Framework				
Industrial Zone Development Area	ha	130	690	1,540
Residential Area	ha	10	107	286
Commercial Area	ha	-	19	174
Amenity Area	ha	-	19	
Logistic Area	ha	-	10	
Total		140	845	2,000
Demand estimation				
Water Supply	m ³ /day	7,000	58,000	-
Wastewater	m ³ /day	5,600	46,400	-

Source: Progress report, Preparatory Survey on Industrial Development in the Lao People's, Democratic Republic, JICA,

(b) SEA Games スタジアム

東南アジア競技大会(SEA Games) スタジアムは、必ずしも常時使用されることはないと考え、Stadium Development area から発生する営業排水の一部と見なす。

(8) モデル構築のためのキャリブレーション

ここでは、まず、流量と水質(BOD)に関するキャリブレーションを行い、このモデルを用いて3章において水環境改善検討案を比較検討する。

(a) 流量のキャリブレーション

前節(2.5.2)に示したとおり、11月においても、流量雨水の影響を受けていることがわかった。そのため、流量のキャリブレーションは、12月の観測値に着目して行った。

乾期においては、河川内の流量は、ほぼ水道や井戸の使用水量に等しいものと推測される。また、これらの水は、そのほとんどが日中に使用されるとものと考えられる。そのため、水使用の実態に合わせるため、peak factor という概念を導入する。

以上から、以下の式を用いて、各小流域から発生する水量を予測する。

この式において、市内中心部に位置する流域(人口密度が高く、各小流域の面積が小さい Hong Ke と Hong Xeng 流域)には、2.0 の peak factor を適用する。その他の地域には、1.0 を適用して、流量を算出する。

$$(\text{Stream flow}) = (\text{Amount of water supply by pipe network and wells}) \times (\text{Peak factor})$$

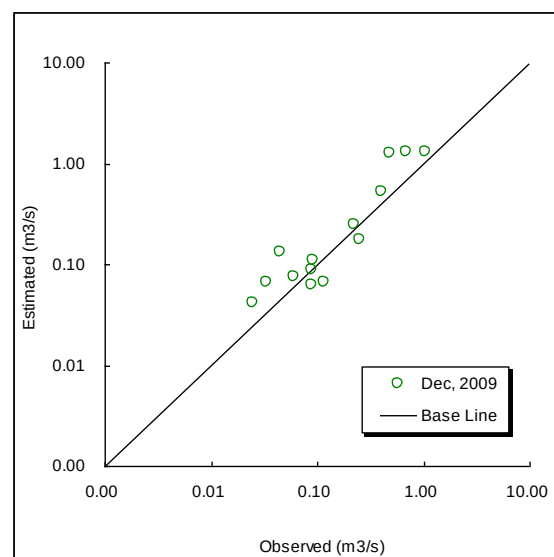


図 2.5.22 流量の観測値と予測値の関係

図 2.5.22 に、各モニタリングポイントにおける流量の観測値と予測値の関係を示す。これより、このモデルがかなり高い再現性を有していることがわかる。

なお、ここで算出された流量は、2.3.3 節で示した、低水流量に相当する。

(b) 流達率の設定

2009 年と 2020 年の流達率は、土地利用(現在・将来)やモニタリング結果に基づきつつ、さらに、「流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説(日本下水道協会)」の標準値を参照しながら設定した。

Urban、sub-urban、rural エリアの区分では、各小流域の人口密度でクラス分けをして、流達率を設定することとした。

モニタリング結果(乾期における Hong Ke や Hong Xeng においても概ね BOD:30 mg/l 以下)を考慮して、2009 年の流達率は、先述の標準値より低い値とした。一方、2020 年については、VUDAA による排水路の改善事業の進展等を想定し、2009 年値を 2 倍した流達率を用いた(表 2.5.17)。

表 2.5.17 流達率

Area	Pop density ¹⁾ (person/km ²)	2009	2020	Typical Value ²⁾
Service area of conventional sewer system		-	0.80	1.00
Urban Area	6,000≤x	0.25	0.50	0.6 - 1.0
	4,500≤x<6,000	0.15	0.30	
	3,000≤x<4,500	0.10	0.20	
Sub-urban	1,500≤x<3,000	0.10	0.20	0.1 - 0.6
Rural	0<x<1,500	0.05	0.05	0.0 - 0.2
Livestock		0.05	0.05	-
Natural pollutant		0.05	0.05	-

Note ¹⁾ Population density of sub-catchment area

²⁾ Source: *Guidelines for Comprehensive Basin-wide Planning of Sewerage Systems*, The Japan Sewerage Works Association

(c) 自浄係数の設定

以下に列挙するように、市内中心部の排水路については、0.2 の自浄係数を設定した。一方、田園農村部や、Mak Hiao 川の下流部(MP4～MP6)については、BOD が概ね 5 mg/l 以下であることを考慮して 0.3 とした。

- ・ 市内中心部の排水路: 0.2
- ・ 田園農村部や、Mak Hiao 川の下流部: 0.3

(d) BOD のキャリブレーション

BOD のキャリブレーションは、モニタリング結果と、前項で設定した流達率と自浄係数を用いて行った。

図 2.5.23 に示すように、BOD の観測値と予測値に十分な相関性があり、本調査で構築したモデルが、将来の水質を予測するに適するものであることが検証された。

(e) 汚濁解析モデルで使用する他のパラメータのまとめ

流達率や自浄係数を除くパラメータを
表 2.5.18 にまとめる。

表中のパラメータは、1 人当たりの BOD 負荷量原単位や、セプティックタンク、Soak pit の除去率、あるいは活性汚泥法や嫌気処理、接触酸化処理等の除去率などである。

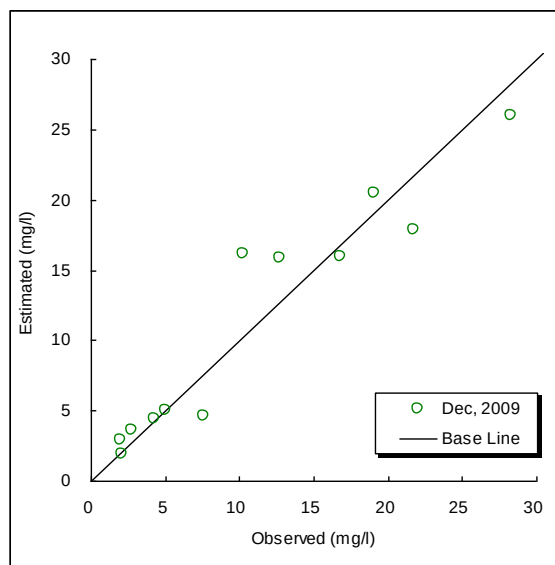


図 2.5.23 BOD の観測値と予測値の関係

表 2.5.18 汚濁解析モデル内で使用するパラメータのまとめ

	Item	Sub-item	Unit	Parameters		Remarks
				Present (2009)	Target year (2020)	
1. Point loads						
(1)	Domestic wastewater	Night soil	gpcd	25	25	
		Gray water		20	20	
		Total		45	45	1)
(2)	Commercial wastewater	Night soil	gpcd	25	25	
		Gray water		20	20	
		Total		45	45	
(3)	Industrial wastewater			- Slaughter house in Nongdouang Village	- Slaughter house in Nongdouang Village - Vientiane Industrial Park	
(4)	Livestock	Cow, Buffalo	g/unit	640	640	2)
		Swine, Goat	g/unit	200	200	2)
2. Non-point load						
(1)	Non-point load		kg/day/km ²	0.75	0.75	2)
3. Water consumption per capita						
(1)	Supplied by pipe line		lpcd	180 ³⁾	170 ⁴⁾	
(2)	Supplied by wells		lpcd	70	70	5)
(3)	Commercial use			20% of domestic use	20% of domestic use	
4. BOD removal rate of treatment facilities						
(1)	Modern toilet with septic tank		%	40	40	6)
(2)	Soak pit and others (without septic tank)		%	20	20	7)
(3)	Activated sludge process		%	90	90	
(4)	Anaerobic treatment		%	-	70	
(5)	Contact aeration process		%	-	70	

Notes: Sources

- 1) Wastewater Stabilization Ponds -Principles of Planning & Practice-, WHO
- 2) Guidelines for Comprehensive Basin-wide Planning of Sewerage Systems, The Japan Sewerage Works Association
- 3) Water consumption data of 2007 provided by Water Supply Enterprise, Vientiane
- 4) The Study on Vientiane Water Supply Development Project in Lao PDR, January 2004, JICA
- 5) Information from JICA Senior volunteer, who is in charge of water leakage investigation in Vientiane
- 6) Report on the Disposal of Domestic Wastewater in Urban Vientiane, issued on October 1988 under project UNDP-UNCHS LAO/85/003 Urban Development Programme in the Prefecture of Vientiane.
In the report, a removal rate of 40% is given to remove both night soil and gray water. But in the water quality modeling, the 40% is applied for removing night soil only, considering the fact that few septic tanks in Vientiane receive gray water.
- 7) Twenty percent (20%) which is a half of BOD removal rate of septic tank (40 %) is given by the Study Team due to the lack of the information.

(9) 発生および流出汚濁負荷量(2009)

表 2.5.19 と図 2.5.24 に、本調査で構築した水質汚濁モデルを用いて算出した 2009 年の発生および流出汚濁負荷量を示す。これより、発生負荷量の総量は、31,485 kg/day である。この発生負荷量は、セプティックタンクを経由するか、あるいは無処理で排出される。その際、流達率により負荷量が削減され、その後、排水路に到達する。その到達量は 2,579 kg/day であり、これは発生負荷量の 8.2%に相当する。その後、Mak Hiao 川の下流端に到達する負荷量は、217 kg/day(到達量の 8.4 %に相当)にまで削減される。これは、Mak Hiao 川の河川延長 30 km と遅い流速(0.1～0.2 m/s)による自然浄化作用に起因するものである。

発生種別ごとの負荷量を見ると、家庭・営業系が発生負荷量全体の 59.6%(18,767 kg/day)を占め、家畜系がこれに続く(38.4 %、もしくは 12,107 kg/day)。しかしながら、家畜系負荷量は、流達率が低いため、家庭・営業系負荷量に比べて、水域への影響は少ない。

表 2.5.19 発生および流出汚濁負荷量(2009 年)

		Pollution load (kg/day)			Percentage (%)		
		Generated	Reaches to the river	D/S end of Mak Hiao River	Generated	Reaches to the river	D/S end of Mak Hiao River
1	Domestic	16,326	1,437	70	100.0	8.8	0.4
2	Commercial	2,441	221	8	100.0	9.1	0.3
3	Industrial	300	300	4	100.0	100.0	1.2
4	Livestock	12,107	605	131	100.0	5.0	1.1
5	Non-point	309	15	3	100.0	5.0	1.0
Total		31,485	2,579	217	100.0	8.2	0.7

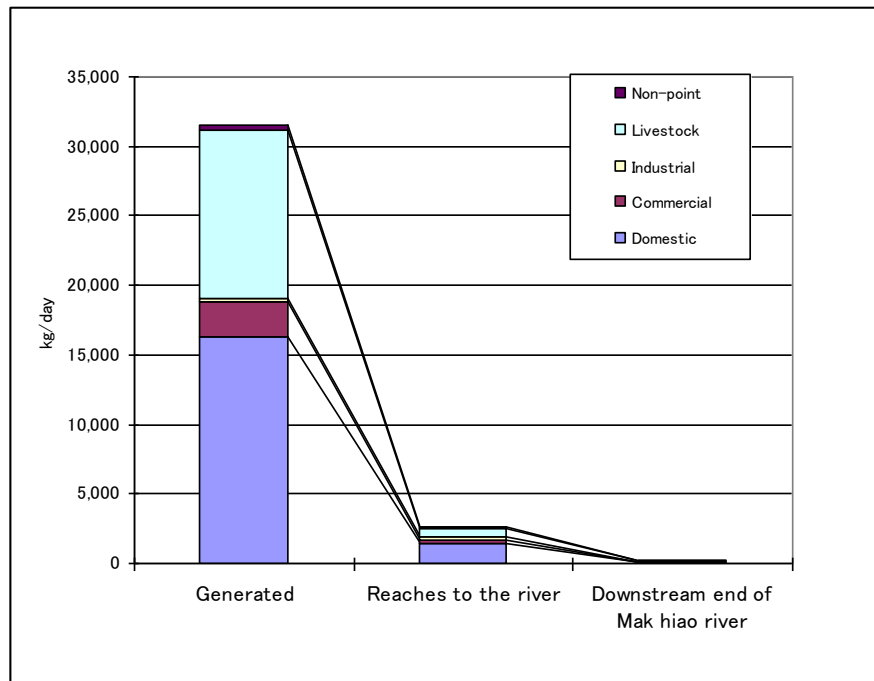


図 2.5.24 発生および流出汚濁負荷量(2009 年)