

1-5. 市場性調査

1-5-1. ベトナム国のダム貯水池に関する概況

ベトナム国には約2,600の河川があり、流出量は季節・地域・地形によって異なるが、北部と南部の大河(紅河・メコン)流域を除き、とくに中部では山岳部から急流河川となって一気に海に流出する河川形態が多い。このような地形と、雨季での洪水や乾季の渇水の頻発に対応し水資源を有効に利用するため、フランス統治時代から今日まで多くのダム貯水池が建設されてきている。

ベトナム国において、貯水池は水力発電、洪水制御、水路交通、水利及び水産養殖の目的に利用されている。様々な規模の水利用、水力発電用貯水池が建設されており、ベトナム国の経済社会の発展に大きく貢献している。建設省の統計によると、2012年現在、全国で大小を含めて6,000湖近くの貯水池があり、合計容積が500億 m^3 近くある。そのうち、150湖が水力発電所の貯水池であり、合計容積が396億 m^3 である。5,466湖が水利用の貯水池で、合計容積が102億8千万 m^3 あり、803,180haの農地の用水を供給している。全国の63省のうちの41省において、大ダムによる貯水池数は建設中と計画を含めて651あり、そのうち、堤高25m以上のダムは175、堤高15から25mまでダムは399である。最大で10億 m^3 の貯水能力のある6湖のダム貯水池がHoa Binh湖、Thac Ba湖、Tri An湖、Dau Tieng湖、Thac Mo湖、Ya Ly湖で現在水力発電のために利用されている。全国の水利用システムとともに貯水池は基本約692万haの稲作用地、150万haの野菜や短日性工業用作物の栽培地の用水を供給している。また、河口付近でのダム等の水利施設は、87万haの農地を塩水侵入から防ぎ、160万haの酸性土壌を改善し、56億5千万 m^3 の生活用水及び工業生産用水を供給している。

ベトナム国におけるダム貯水池は大きく分けて長期調節(季節、一年、数年の周期)と短期調節(日、週、月の周期)がある。短期調節のダム貯水池の場合、ダム貯水池の水位が最低水位から平常時最高貯水位までの間に短期間に移動するため、ダム貯水池内の水が常に変わる。Hoa Binh、Son La、Tuyen Quang、Cua Dat湖等、洪水防御、給水、発電の機能をもつ大きな貯水池は一年か数年の周期で調節しており、設計上の機能を維持するためのダム中部及び下部にある放流設備がある。しかし、発電用容量の最低水位以上でしか水利用しない発電方式のため、多くのダム貯水池はダムに低水放流設備がない。これが、必要に応じて水位を低下させられない、完全放水ができない等多くの問題の原因となっている。そのため、水力発電ダム貯水池の中に大量の死水容量が常に溜まっており、最低水位からダム貯水池の底までの死水容量は利用できず、ダム貯水池内の水質の低下の原因となっている。

1-5-2. 全国のダムとダム貯水池の調査

ベトナム国内でのダム諸元データを総覧できる公表資料がないため、堤高15m以上で一般に大ダムと区分されるダムとそのダム貯水池の情報を、河川管理機関を通じて調査し収集・整理した。提案製品・技術の適用面を検討する視点から、全国でのダム諸元のおもな調査項目は以下のとおりとした。

- ・ダムの名称
- ・建設済み、未完成の区別（完成予定年または完成した年も）
- ・ダムの位置する地方省・場所
- ・ダム施設の管理者
- ・ダムの目的（発電・かんがい用・洪水防御・水道補給用等）
- ・ダムの規模（流域面積、最大貯水容量、最大の水面面積、ダムの高さ等）
- ・放流設備の方式と規模（上部越流方式、中層からのバルブ放流方式等）、その他

1-5-3. 調査結果

(1) 基本的な調査結果

地方省ごとに調査結果をとりまとめた。

・全国のダムのデータ

全国のダムに関するダムの諸条件データの一部を表1.5.3.6～1.5.3.7に示した。（全データは資料編参照のこと）ベトナム国南部の平野部を除き、全国58省・5直轄市のうち、41の地方省で、堤高15m以上で651基のダムが建設されている。このうち南部など大半が平原にある省では地形的要因から、対象となるような大ダムは建設・計画されていない。建設・未完成のダムで最も多い建設目的は、灌漑（A）、洪水調節（F）、上水道補給（W）となっている。またこれらは多目的に計画されたものが多い。

表1.5.3.1 全国ダムの建設目的(重複あり)

目 的		目的別ダム数
A：灌漑	A：Agriculture	509
F：洪水調節、農地防災	F：Flood control	491
W：上水道用水	W：Water service	270
P：発電	P：Power generation	106
Fi：水産養殖	Fi：Fishery	47
I：工業用水	I：Industrial	17
R：レクリエーション	R：Recreation	1
E：環境保全	E：Environment	1
B：汽水	B：Brackish water	1

*建設済みと、建設中・計画中等の全数

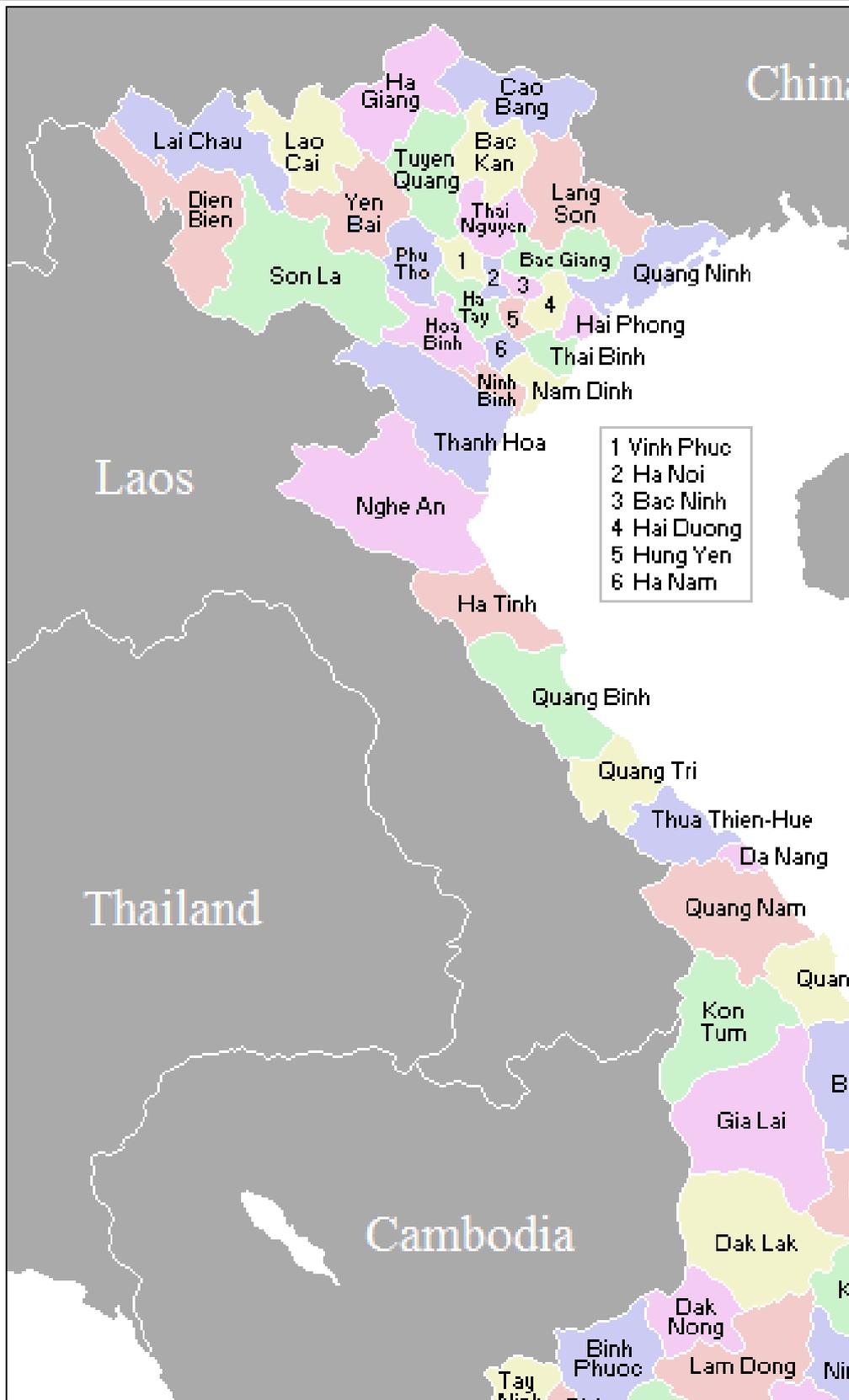


図1.5.3.1 ベトナム国の地方省の位置図

出典) http://en.wikipedia.org/wiki/Provinces_of_Vietnam

表 1.5.3.2 地方省・堤高・建設段階別でのダム数

Province(地方省)	建設済のダム数				建設中のダム数				計画中・予定のダム数				建設状態表記なしの数				ダム数
	H<25	H≥25	表記なし	合計	H<25	H≥25	表記なし	合計	H<25	H≥25	表記なし	合計	H<25	H≥25	表記なし	合計	
1. Ha Giang	3	6		9												9	
2. Cao bang	10			10												10	
3. Lai Châu		5		5												5	
4. Dien Bien	8	3		11		5		5	1	2		3				19	
5. Lao Cai	6	4	1	11												11	
6. Yên Bái	11	5		16												16	
7. Tuyen Quang	6	3		9												9	
8. Bac kan	4	1		5												5	
9. Thai nguyen	16	3		19												19	
10. Lang Son	46	6		52												52	
11. Son La	14	11		25												25	
12. Phu tho	3	2		5												5	
13. Vinh phuc	4	3		7												7	
14. Ha noi	6	3		9												9	
15. Bac Giang	13	1		14												14	
16. Quang Ninh	8	4		12												12	
17. Hoa Binhx	14	12		26												26	
18. Thanh Hoa	13			13												13	
19. Nghe An	23	5		28	2	1	1	4								32	
20. Ha Tinh	11	9		20												20	
21. Quang Binh	11	5		16												16	
22. Quang tri	6	2		8												8	
23. Thua Thien Huex	4	4		8		1		1								9	
24. Da Nang		2		2												2	
25. Quang Nam	19	9		28		5		5								33	
26. Quang Ngaix	9	11		20		2		2								22	
27. Binh Dinhx	24	8		32												32	
28. Phu Yen	11			11												11	
29. Khanh Hoa	11	6		17	1			1	4	5		9				27	
30. Kon Tum	16	2		18								1	1			19	
31.Gia Laix	10	14		24												24	
32.Dak Lak		51		51										1	1	52	
33.Dak Nong	17	3		20												20	
34. Lam Dong	12	7		19												19	
35. Ninh Thuan	4	2		6												6	
36. Binh Thuan		9		9												9	
37. Tay Ninh			1	1												1	
38. Binh Phuoc	3	4		7												7	
39. Binh Duong	1			1												1	
40. Dong Nai	7			7												7	
41. Vung Tau	7	1		8												8	
総計	391	226	2	619	3	14	1	18	5	7	1	13		1	1	651	

建設済みで供用中かそれ以外かで区分したダム数では、建設済みが最も多く619基となっている。現在建設中または計画段階のものは31基を数える。詳細不明であるものは地方省からの情報が適切に把握されていないものである。

表1.5.3.3 建設状態別のダム数

建設済み	建設中	計画	詳細不明	合計
619	18	13	1	651

容量規模別には 10^6m^3 以下および $1\sim 10^6\text{m}^3$ の比較的規模の小さいダムがもっとも多い。しかし、容量で $10\times 10^6\text{m}^3$ 以上のダムでも160基以上計上されている。

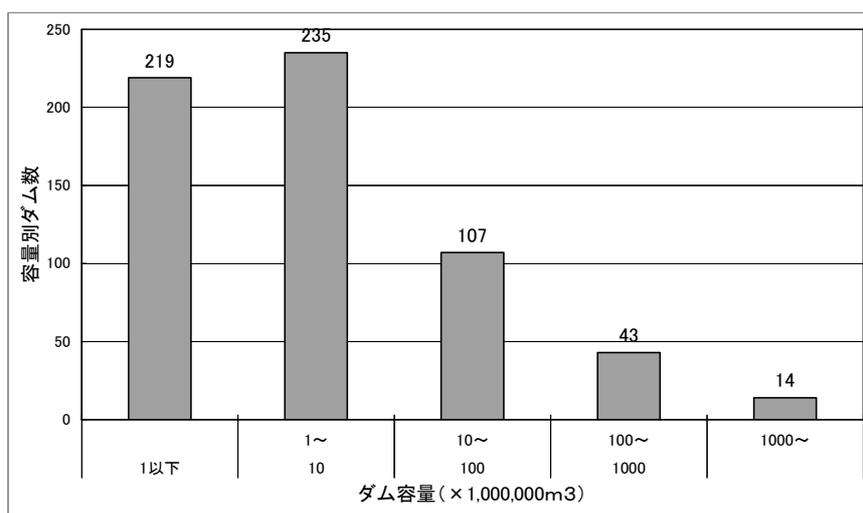


図1.5.3.2 総貯水容量別のダム数

表1.5.3.4 総貯水容量別のダム数

容量 (m³)	容量別ダム数
~ 1×10^6 以下	219
1×10^6 ~ 10×10^6 以下	235
10×10^6 ~ 100×10^6 以下	107
100×10^6 ~ 1000×10^6 以下	43
1000×10^6	14
計	618

これらのダムは日本ほど多機能なゲート設備をもたず、表層～中層の利水管と上面の洪水吐きの組み合わせもしくは、上面の洪水吐きのみの設備が多いと考えられている。

調査で得たデータから、建設年次別に大ダム数を以下に整理した。この結果から、データのある1963年から2000までは平均して毎年4.4のダムが建設されたが、2001年から2012年までは年間13.4に急増している。これは近年におけるベトナム国経済の急伸を背景に、建設ペースが高まった結果と考えられる。とくに、2009年以降は堤高25m以上のより高い(大型の)ダムの建設比率が増加していることもわかる。また、2012年は一時的な経済後退を受けてダムの建設数も前年より減少したものと推定される。このように、経済成長に合わせて多目的なニーズからダム建設が進んでいる状況下であり、今後ともベトナム国経済が長期的な成長が期待される現状では、ダム建設も並行して進む見通しであるといえる。

これらから具体的には、近年として2001年以降のダム建設ペースが継続されるとした場合には、今後毎年、13基程度が、またこのうち提案製品・技術がそのまま適用できる25m以上のダムの場合は毎年、7基程度の大ダム建設が見込まれる。今後、ダム建設時の環境影響の緩和策の必要性が認識されれば、新規建設にともない最大で7基程度の対策ニーズがあるといえる。

一方で、これまで建設されたダムでも、水環境問題改善の必要性と提案製品・技術の効果が認識されれば、さらにこれに増した対策ニーズがあるといえる。

厳密な計数はできないが、直ちに対策適用が可能な堤高25m以上の条件でみれば、今後建設されるダムでは年間7ダム、そのほか既設ダムで問題対策が必要なものとして総計で120程度のダムが(詳細は後述)、市場規模と認識される。

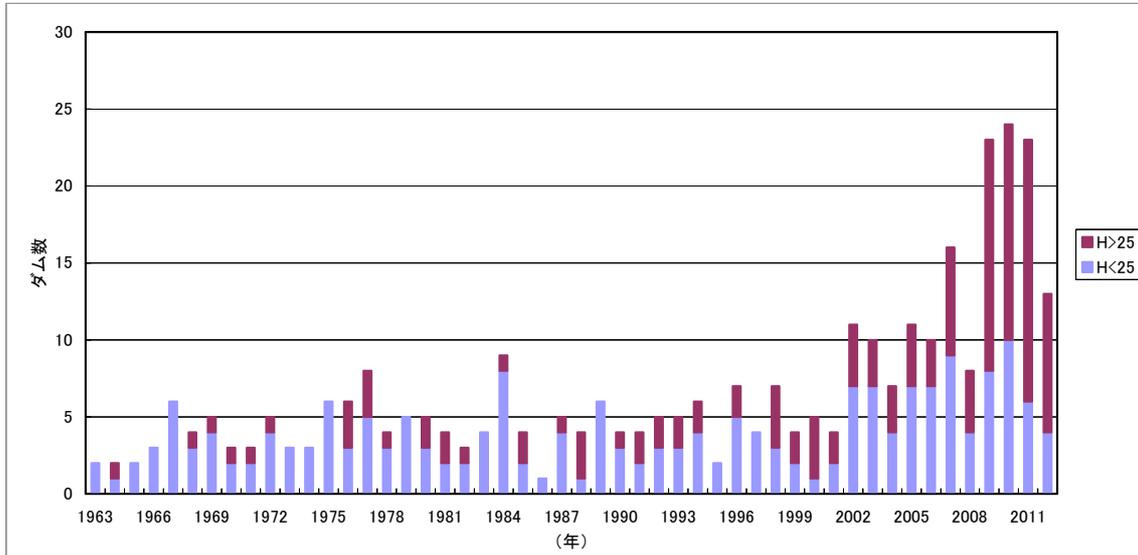


図1.5.3.3 建設年別の大ダムの数

表1.5.3.5 大ダムの規模別・期間別の平均年建設数

堤高による大ダムの規模	1963～2000年での年平均	2001～2012年での年平均
25m未満	3.2	6.3
25m以上	1.2	7.1

第1章 対象国における当該開発課題の現状及びニーズの確認

表1.5.3.6 ダムとダム貯水池の調査結果の部分① (全体データは資料編参照)

Province	Depth of water	Present condition	No	Name of Dam	Location Site	Construction year	Management Authority	Dam function F: Flood A: Agriculture W: Water service I: Industrial P: Power generation R: Re-Friction FI: Fishery B: Beneficial water E: Environment	Structure	Technical Criteria																
										Fly (km ²)	W Volume (10 ⁶ m ³)	Frm max (km ²)	F (ha) (irrigated area)	MNC Death water level	MNDBT Nomal water lever	MNCG Maximum water level	Depth of reservoir max(m)	Main dam		Auxiliary dam	Inlet sluice		Spill way			
															Altitude of	H max	L (m)	Dimension (m)	Type	Elevation	Width (m)	Type of spill way				
1. Ha Giang	H<25	Constructed	1	Hồ Tân Thới	Hàng Hạng, huyện Bắc Quang	4	UBND Xã Bắc Hạng	A W F	E	7	0.2	0.038	55	43.5	58.5	50.5	16.8	17.5	50	0	Công từ D=0.4	Co-áp	58.5	10	Turdo	
1. Ha Giang	H<25	Constructed	2	Núi Báy	Tân Trành, Quảng Bình	4	UBND Xã Tân Trành	A W F	E	6	0.26	0.033	214	51.5	63.5	64	19	18.3	53.8	0	Công từ D=0.5	Co-áp	63.5	10	Turdo	
1. Ha Giang	H<25	Constructed	3	Thủy điện Năm Mụ	Bắc Giang, Sơn La	2004	CTCPĐN Năm Mụ	A W F P	G	2.35	1.2	0.95	50	49.5	66.5	69	21	70.2	22	31.5	0	Công từ D=0.5	Co-áp	66.5	12	Turdo
1. Ha Giang	H<25	Constructed	1	Thủy điện Năm Ngàn 2	Việt Lâm, Quảng Nghai huyện Việt Xuyên, thuộc hệ thống sông Hồng	2009	CTCP thủy điện Năm Mụ	A W F P	G	55	9.02	25	75	385	417	420	47	434.5	50	195	0	Công hóp 3x3m	Co-áp	417	15	Van cung
1. Ha Giang	H<25	Constructed	2	Thủy điện Số 1	Yên Bình, Quảng Bình, huyện Lệ Thủy, thuộc hệ thống Sông Sơn	2011	Công ty TNHH Sơn 1	A W F P	G	328	45.6	2.46	580	110	120	121.2	52	126	55	200	0	Công hóp 7.5x8	Co-áp	120	70	Turdo
1. Ha Giang	H<25	Constructed	3	Thủy điện Thới An	Thới An, Quan Ba và Thuận Hóa, Vĩnh Xuyên	2010	CTCP TD Thới An	A W F P	G	1494	3.54	5	650	424	426	429	45	431.2	47	163	0	Công hóp 4.5x5	Co-áp	418	86.4	Turdo
1. Ha Giang	H<25	Constructed	4	Thủy điện Sông Mệ	Bản Phố, huyện Minh, Sông Mệ	2011	CTCP ĐB Lai Sơn	A W F P	G	1520	4.38	4.38	1200	451	467	469	26	471	28	150	0	Công hóp 3x3	Co-áp	467	81	Van cung
1. Ha Giang	H<25	Constructed	5	Thủy điện Nho Quế 3	Khuân Văn, Lệ Thu, Sơn Bình huyện Phúc Sơn, Yên Bái	2012	CTCP BTEXCO Nho Quế	A W F P	G	6080	2.17	1.56	2500	345	363	365	27	369	28.5	34.4	0	Công hóp 7x8.5	Co-áp	360	110	Turdo
1. Ha Giang	H<25	Constructed	6	Thủy điện Số 5	Thị trấn, huyện Mèo Vạc, Tuyên Quang	2012	Cty CP ĐTXDC Phát triển năng lượng Sông Đà 5	A W F P	G	5.67	3.14	8.64	150	235	260	265	38	260	40	200	0	Công hóp 6x6	Co-áp	260	50	Turdo
2. Cao bang	H<25	Constructed	1	Hồ Nà Tấu	Hòa An	1970	Cty TNHH MTV Thủy nông Cao Bằng	A W F	E	4	2.4	0.31	390	101.7	114.63	117.3	18.18	18.6	164	0	Công từ D=0.5	Co-áp	114.63	14	Turdo	
2. Cao bang	H<25	Constructed	2	Hồ Khuổi Lải	Hòa An	1982	Cty TNHH MTV Thủy nông Cao Bằng	A W F	E	14	3.1	0.42	400	64.5	76.4	78	18.63	80	20	99.5	0	Công từ D=0.5	Co-áp	76.4	21.6	Turdo
2. Cao bang	H<25	Constructed	3	Hồ Bản Việt	Trang Khánh	1969	Cty TNHH MTV Thủy nông Cao Bằng	A W F	E	14	3.1	0.39	256	107.4	124.05	125.8	23.15	127	24	69.5	0	Công từ D=0.8	Co-áp	124.05	40	Turdo
2. Cao bang	H<25	Constructed	4	Hồ Bản Nua	Hà Quảng	1968	Cty TNHH MTV Thủy nông Cao Bằng	A W F	E	6	1.0	0.16	170	78.2	89.2	90.2	16.5	92	18	160	0	Công từ D=0.35	Co-áp	89.2	10.4	Turdo

第1章 対象国における当該開発課題の現状及びニーズの確認

表1.5.3.7 ダムとダム貯水池の調査結果の部分② (全体データは資料編参照)

Province	Depth of water	Present condition	No	Name of Dam	Location Site	Construction year	Management Authority	Dam function F: Flood A: Agriculture W: Water supply P: Power generation R: Reclamation FI: Fishery B: Bra/Fish water E: Environment	Structure	Bv (km ²) Basin area	W Volume (10 ⁶ m ³) Surface area	Fm max (km ²) Surface area	F (ha) (irrigated area)	MNC Death water level	MNDBF Normal water level	MNGC Maximum water level	Depth of reservoir max (m)	Main dam		Auxiliary dam	Inlet sluice		Spill way			
																		H max (m)	L (m)		Dimension (m)	Type	Elevation (m)	Width (m)	Type of spill way	
2. Cao bang	H<25	Constructed	1	Hồ Khuê An	Hoa An	1971	Cy TNHH MTV Thủy nông Cao Bằng	A W F	E	4	0.6	0.084	250	233.6	244.9	245.82	17.1	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2. Cao bang	H<25	Constructed	6	Hồ Cỏ Pây	Thạch An	2000	Cy TNHH MTV Thủy nông Cao Bằng	A W F	E	4	0.5	0.077	148.2	103.8	123.2	124.97	23.3	16	24	102	0	Công hợp D=0.8x1.2	Công hợp	123.2	12	Từ do
2. Cao bang	H<25	Constructed	7	Hồ Nà Tấu	Thạch An	1999	Cy TNHH MTV Thủy nông Cao Bằng	A W F	E	3	0.5	0.053	213	111.7	127.2	128.74	22.8	16	23	70	0	Công hợp D=0.35	Công hợp	127.2	12	Từ do
2. Cao bang	H<25	Constructed	8	Hồ Phác Giáo	Hoa An	1984	Cy TNHH MTV Thủy nông Cao Bằng	A W F	E	3	0.7	0.091	105	507.9	516.2	517.5	14.9	16	120	0	Công hợp D=0.35	Công hợp	516.2	6	Từ do	
2. Cao bang	H<25	Constructed	9	Hồ Cao Thà	Trang Kim	1966	Cy TNHH MTV Thủy nông Cao Bằng	A W F	E	4	0.5	0.078	75	101.9	109.02	110.2	14	112	15	61.3	0	Công hợp D=0.6	Công hợp	109.02	5	Từ do
2. Cao bang	H<25	Constructed	10	Hồ Nà Danh	Thạch An	2002	Cy TNHH MTV Thủy nông Cao Bằng	A W F	E	3	0.5	0.063	262	125	138.4	140.27	22.68	141	24	90	0	Công hợp D=0.8x1.2	Công hợp	138.4	10	Từ do
3. Lai Châu	H>25	Constructed	1	Hồ Ngâm Mỏ	Sông Ngâm Mỏ - Xã Khốon, huyện Thuận Yên	2012	CTCP thủy điện Ngâm Mỏ	P F	G	194.6	0.3	6.52		488	477	479	25	481.5	28	95	0	Công hợp 6x6	Công hợp	477	15	Từ do
3. Lai Châu	H>25	Constructed	2	Hồ Bản Chai	Mỏ, xã Hoàng Sơn, xã Đà Bắc, huyện Thuận Yên	2011	Tập đoàn điện lực Việt Nam	P F	RCC	1929	213.8	60.5		945	1058	1060	125	1065	130	420	0	Công hợp 15x15	Công hợp	1058	90	Từ do
3. Lai Châu	H>25	Constructed	3	Hồ Hoàng Quang	Sông Ngâm Xã Hoàng Sơn, xã Khốon, huyện Thuận Yên	2012	Tập đoàn điện lực Việt Nam	P F	G	2824	184.2	8.7		368	370	373	81	374	83	286	0	Công hợp 12x12	Công hợp	354.15	90	Trên có cửa van
3. Lai Châu	H>25	Constructed	4	Hồ Hoàng Hộ	Sông Ngâm Xã Hoàng Hộ, huyện Thuận Yên	2010	Sở NN & PTNT tỉnh Lai Châu	A W F	E	565	2463	15		1623	1648.5	1650	39.5	1651.5	41	356	0	Công hợp D=1.2	Công hợp	1648.5	15	Trên có cửa van
3. Lai Châu	H>25	Constructed	5	Hồ Pa Khoua	Xã Pa Khoua, huyện Thuận Yên	2008	Sở NN & PTNT Lai Châu	A W F	E	465	307.5	16		1649.5	1669.4	1671	25	1672.5	26.5	195	0	Công hợp D=1	Công hợp	1669.4	15	Trên có cửa van
4. Điện Biên	H>25	Constructed	1	Pa Khouang	Sông Pa Xã Khốon, xã Mường Phá, huyện Điện Biên	1980	Cy TNHH XD&DV Thủy lợi Điện Biên	A W F	E	77.2	39.20	5.9	4000	911	922.4	925.25	25.4	925.9	26	180	0	Công hợp D=0.8	Công hợp	922	13	Trên có cửa van

第1章 対象国における当該開発課題の現状及びニーズの確認

・全国におけるダムの位置

ベトナム国全部を対象としてダムと河川の位置を調査した結果の例を、地方省ごとに図1.5.3.4以降に示した。(全省のデータは現地調査資料編参照のこと) この資料は、水環境問題のあるダムと下流都市との関係などの詳細分析に利用できるものとして整理した。

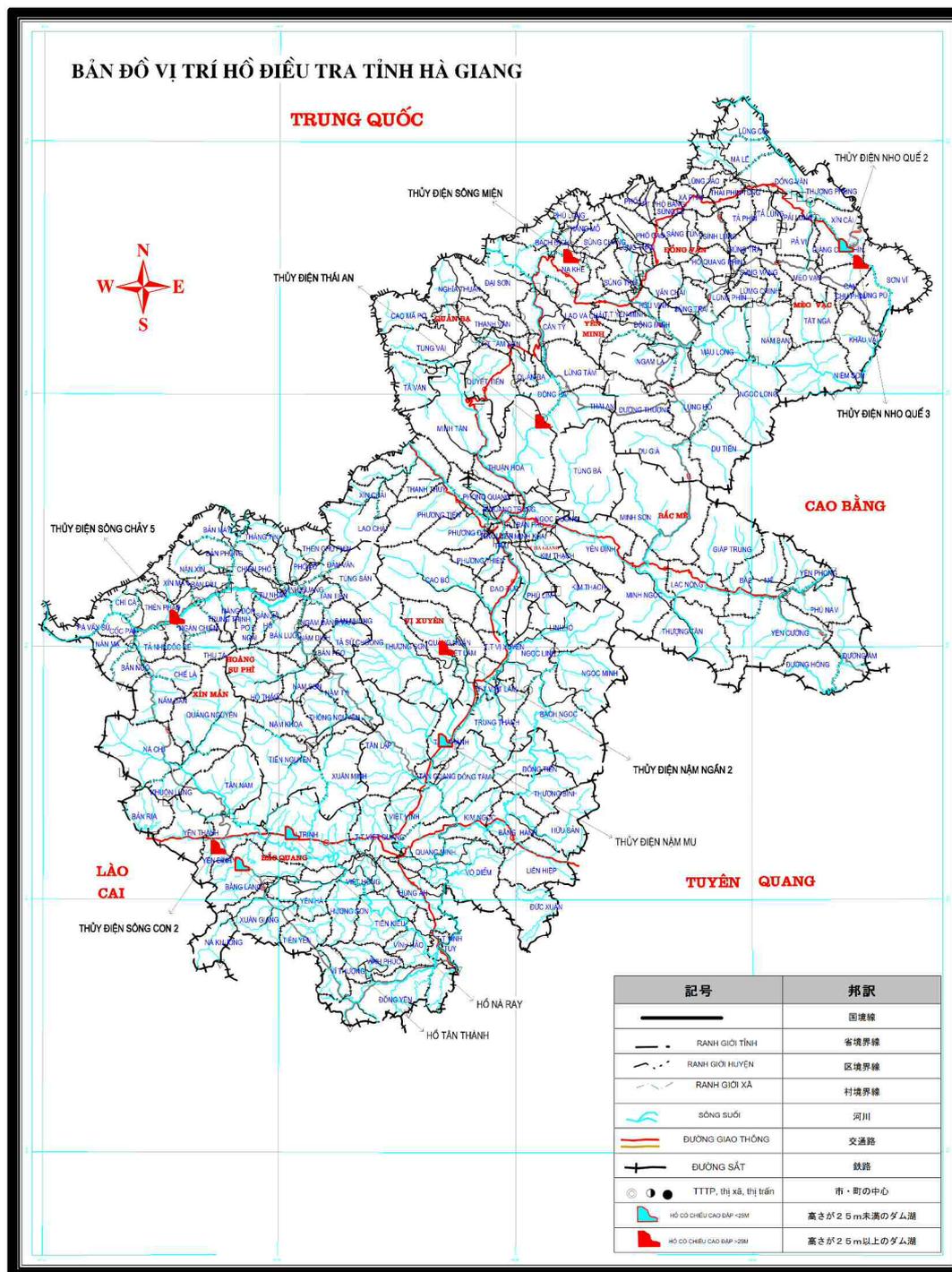


図 1.5.3.4 全国でのダム設置箇所の調査結果の例① (Ha Gian 省での例)

* 全省の結果は現地調査資料編に掲載

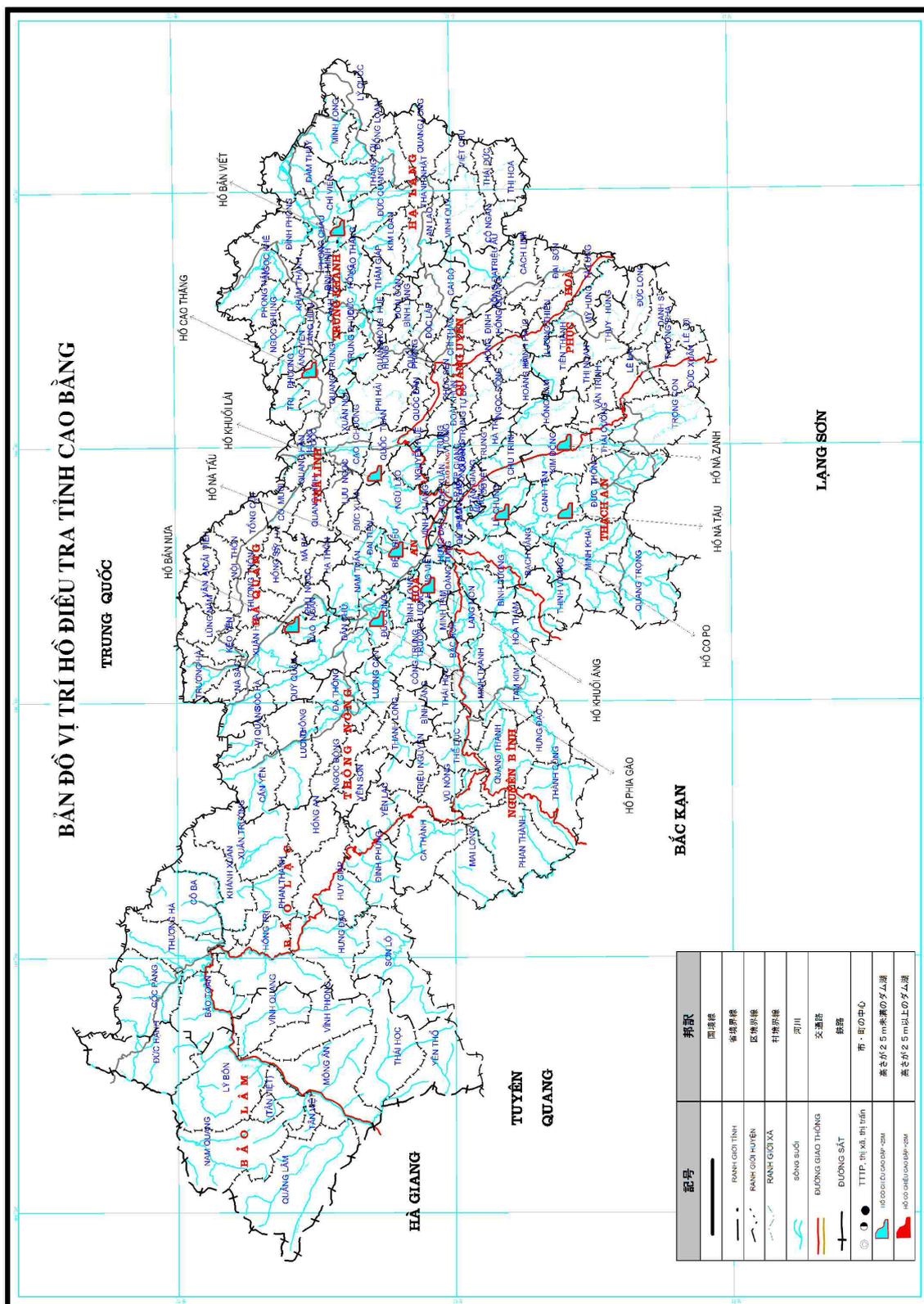


図 1.5.3.5 全国でのダム設置箇所調査結果の例② (Cao Bang 省での例)

* 全省の結果は現地調査資料編に掲載

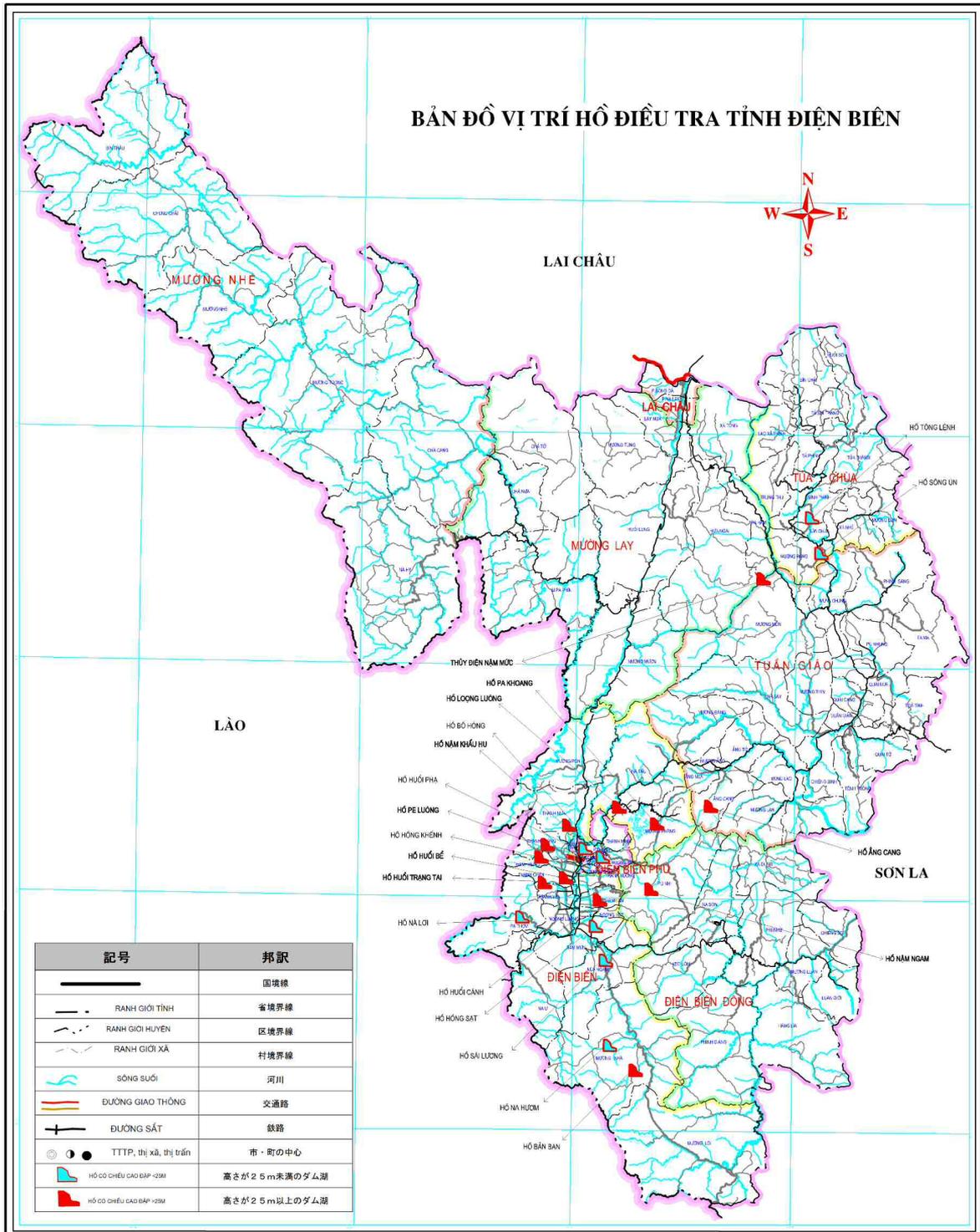


図 1.5.3.6 全国でのダム設置箇所の調査結果の例③ (Dien Bien 省での例)

* 全省の結果は現地調査資料編に掲載

(2) 貧酸素化問題の発生可能性のあるダム数の分析

ダム貯水池での貧酸素化問題をはじめ様々な水環境の問題は、ダム貯水池での水の滞留時間が長く水の交換がしにくい場合に起こりやすいことが知られている。反対に、ダム貯水池の容量に対して流入水量が多い場合は、水交換が早いため問題化しにくいこととなる。現在、把握された651のダムのうち、ダムでの水の滞留時間が比較的長く問題化しやすいダムは495基で、そのうち提案施設が有効に機能しやすい25m以上の水深のダムは175基と推計された。

(水環境問題が発生しやすいダムの抽出方法)

ダム貯水池内での貧酸素化の基礎的要件が成層形成であることから、ダムでの水交換率(以後、回転率 α とする)に着目し、この回転率から成層形成型のダムを抽出することとした。これまでの研究などから、ダム貯水池で回転率が年間10回以下のものは下表のように成層型ダムと判定される。このため、今回調査で整理した全国のダムデータのうちダム容量 V_0 と流域面積 A などから、各ダムの年間回転率を概略推計した。ダムの回転率 α は一般に下式で求めることができる。

$$\text{回転率 } \alpha = \text{年間流入量}(Q_0) / \text{総貯水容量}(V_0)$$

このうち、年間のダム流入量は下式で推定した。

$$\text{年間流入量}Q = \text{年総降水量}I^{1)} \times \text{流域面積}A^{2)} \times \text{流出率}r^{3)}$$

- 1) 年総降水量；各地域のデータを参考に一律2,000mmと設定した。
- 2) 流域面積；今回のダム諸条件調査結果のデータを用いた。
- 3) 流出率；一般的に水文解析で用いる「山地・草地」等の流出係数から0.6を設定した。

表1.5.3.8 ダム貯水池回転率 α での湖沼の成層形成状態の判定の目安

判定 \ 指標	F_D 値	α 値	α 値
成層型	0.01 以下	10 以下	1 以下
成層型 (成層Ⅱ型) または中間型	0.01~0.03	10~20 (例外あり)	1~5 (例外あり)
混合型	0.03 以上	20 以上 (例外あり)	5 以上 (例外あり)

注)表中の記号については、1-2.において詳述している。

出典)「曝気循環設備及び選択取水設備の運用マニュアル(案)」

2005年10月 国土交通省河川局河川環境課

さらに詳細な検討では、これを地域別に分析すること、また地域別の雨季・乾季の違いを考慮して分析することも可能である。

表1.5.3.9 ベトナム国のダム情報の集計結果と対象ダム数の概略予測

省名	総計	問題化しやすいダム(回転率<10)	
		堤高 25m 以上(内数)	堤高 15m以上
1. Ha Giang	9	3	4
2. Cao bang	10	0	9
3. Lai Châu	5	2	2
4. Dien Bien	19	6	13
5. Lao Cai	11	2	4
6. Yên Bái	16	4	12
7. Tuyen Quang	9	3	5
8. Bac kan	5	1	5
9. Thai nguyen	19	3	16
10. Lang Son	52	5	40
11. Son La	25	2	9
12. Phu tho	5	2	3
13. Vinh phuc	7	3	7
14. Ha noi	9	3	7
15. Bac Giang	14	1	12
16. Quang Ninh	12	4	12
17. Hoa Binhx	26	10	22
18. Thanh Hoa	13	0	13
19. Nghe An	32	4	27
20. Ha Tinh	20	8	19
21. Quang Binh	16	5	16
22. Quang tri	8	1	7
23. Thua Thien Huex	9	5	9
24. Da Nang	2	2	2
25. Quang Nam	33	9	26
26. Quang Ngaix	22	9	16
27. Binh Dinhx	32	8	28
28. Phu Yen	11	0	10
29. Khanh Hoa	27	8	23
30. Kon Tum	19	2	17
31. Gia Laix	24	13	22
32. Dak Lak	52	33	33
33. Dak Nong	20	3	11
34. Lam Dong	19	4	15
35. Ninh Thuan	6	1	2
36. Binh Thuan	9	3	3
37. Tay Ninh	1	0	1
38. Binh Phuoc	7	2	5
39. Binh Duong	1	0	1
40. Dong Nai	7	0	6
41. Vung Tau	8	1	1
総計	651	175	495

注)建設済みとそれ以外の合計値である。

1-6. 現地での具体的な問題把握 1 (T. T. Hue 省)

1-6-1. 調査の背景と目的

ベトナム国の水力発電開発は、地域のインフラ開発に貢献するとともに、様々な場面で同国の経済発展のポテンシャルを高めた。しかし、これら発電所のダム運用は環境面に悪影響をもたらし、最も顕著な例としては、貯水池底層部の嫌気化した水を下流に放流することにより、下流の上水や漁業等に悪影響を与えている。

本調査は、ベトナム国のダムにおける貧酸素化現象と下流河川の水質状況を調査し、対象とする問題の発生状況現地調査にもとづき把握することを目的とした。

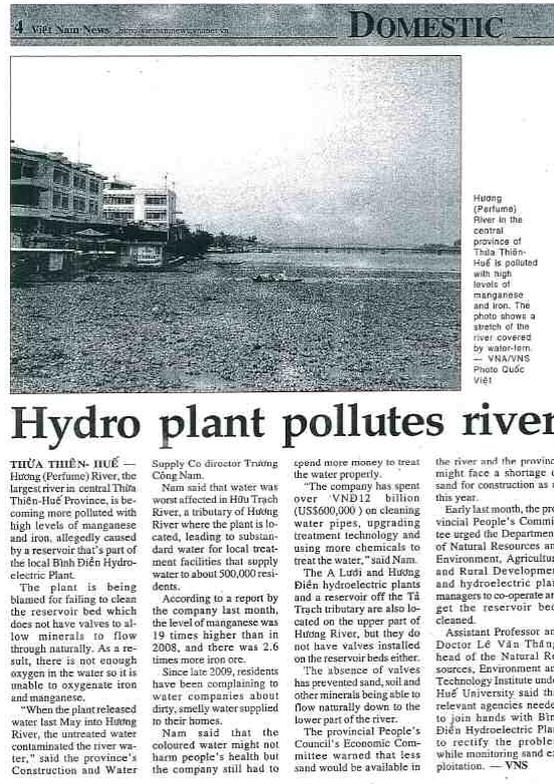
1-6-2. 調査対象ダム貯水池および下流河川

調査対象ダムは、ベトナム国中部の古都フエが位置する Huong 川流域上流の Binh Dien ダム、Huong Dien ダムとする。図 1.6.2 に示すように、2010 年の地方新聞記事によると、2007 年から運用が開始された Binh Dien ダムの貧酸素化問題が大きく取りあげられ、地元の T. T. Hue 省でも具体的な問題認識がある。Huong Dien 発電所は 2009 年より稼働している。

下流河川については、古都フエに主に水を供給している Huong 川と Bo 川の水質を調査した。Huong 川には 2 つの支流、Ta Trach 川と Huu Trach 川からの水が流れており、Huu Trach 川と Bo 川の上流には、対象とする Binh Dien ダム、Huong Dien ダムがそれぞれ位置する。対象ダムの位置図を図 1.6.2.1 に、ダムの外観写真を図 1.6.2.3 に示す。



図 1.6.2.1 調査対象ダム貯水池位置図



(ベトナムニュース
2010年12月11日)

図 1.6.2.2 Binh Dien Dam の貧酸素化による下流 Huong 川での水質問題発生に関する新聞報道



図 1.6.2.3 対象ダムの外観 (2012. 12. 16 撮影)

1-6-3. 調査の内容・方法

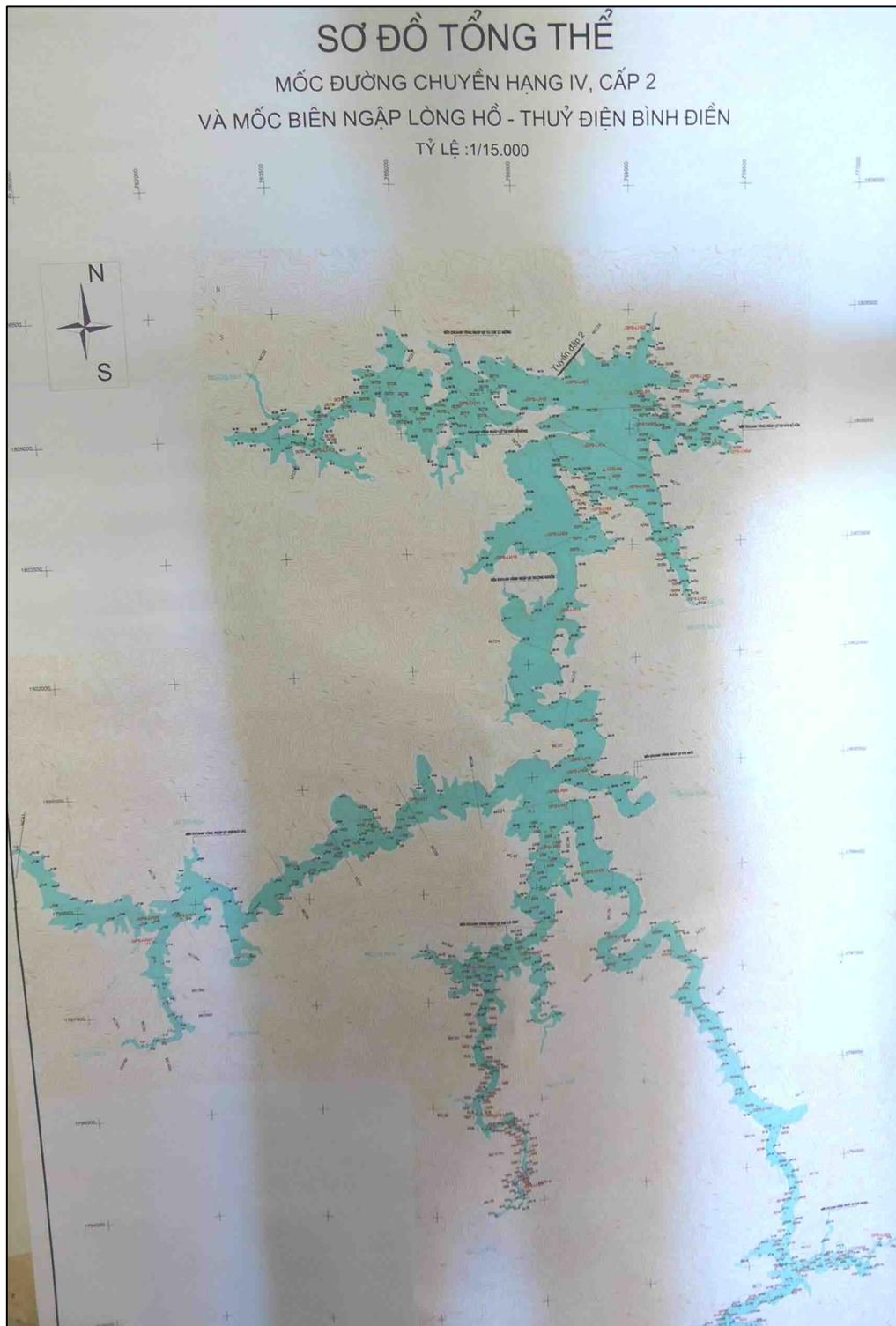
(1) ダムの現況調査

対象ダムの諸元を表 1.6.3.1 に示す。これらダム諸元は、様々なリソースから情報を収集・整理したものであり、内容確認のため、2012年12月17～18日に実施した現地調査時に、ダム管理者にヒアリングし、最新のデータを入手した。Huong Dien、Binh Dien 両ダムの主要諸元を表 1.6.3.1 に示す。また、ダム管理者から入手したダム形状に関する資料を図 1.6.3.1 および図 1.6.3.2 に示した。

表 1.6.3.1 対象ダム貯水池の主要諸元

ダム名	Binh Dien ダム	Huong Dien ダム
水力発電所	Binh Dien	Huong Dien
所有企業	Binh Dien Hydroelectric Power Co. Ltd.	HD Invest Co. Ltd.
竣工年	2007	2009
ダムのタイプ	コンクリートダム	コンクリートダム
堤高(m)	64	82.5
流域面積(km ²)	515	707
水面積 (km ²)	17.08	33.87
最大貯水容量 (10 ⁶ m ³)	423.68	820.67
発電のための有効貯水量(10 ⁶ m ³)	344.39	350.8
満水位(m)	85	58
発電のための限界低水位 (m)	53	46
最大発電時の放流 (m ³ /s)	72	196.2
設計洪水流量 / 観測された最大洪水流量 (m ³ /s)	5,187 / 6,989	9,430 / 6,920
推定発電量 (MW)	14.25	20
推定最大発電量 (MW)	44	81
年間平均発電量 (10 ⁶ kWh)	181.6	305.4
計測最大水深 (2012年11月30日) *	55 m	47 m
計測最大水深 (2012年12月17日) *	57.3 m	47.2 m

◇Binh Dien ダム



(ダム管理者より、写真撮影のみ許可)

図 1.6.3.1 Binh Dien ダム貯水池平面図

(2) 現地調査内容

現地調査内容については、ダム深層部の嫌気状態を調査するため、両ダムの最深部付近の水質鉛直分布を把握した。また、両ダムからの水が流れる2つの河川（Bo川、Huong川）で水質の測定、採水、分析を行った。

現地調査内容と方法を表1.6.3.2に、調査地点を図1.6.3.3に示す。

表 1.6.3.2 現地調査内容と方法

ダム名	調査地点	測定項目	測定水深	測定回数
Binh Dien	貯水池ダムサイト (1地点：B-1) 図 1.6.3.6 参照	水温 , DO, pH, 濁度, ORP, EC, 水深	表面下 0.5m 表面から底までの 2-5m ごと	1回
		Fe, Mn	表層、中層、底層(3点)	同上
	下流域地点 地点 B-2, B-3, B-4, B-5, B-6 および B-7 図 1.6.3.6 参照	水温 , DO, pH, 濁度, ORP, EC, 水深	表面下 0.5m	1回
		Fe, Mn	同上	同上
Huong Dien	貯水池ダムサイト (1地点：H-1) 図 1.6.3.6 参照	水温 , DO, pH, 濁度, ORP, EC, 水深	表面下 0.5m 表面から底までの 2-5m ごと	1回
		Fe, Mn	表層、中層、底層(3点)	同上
	下流域地点 地点 H-2, H-3 お よび H-4 図 1.6.3.6 参照	水温 , DO, pH, 濁度, ORP, EC, 水深	表面下 0.5m	1回
		Fe, Mn	同上	同上

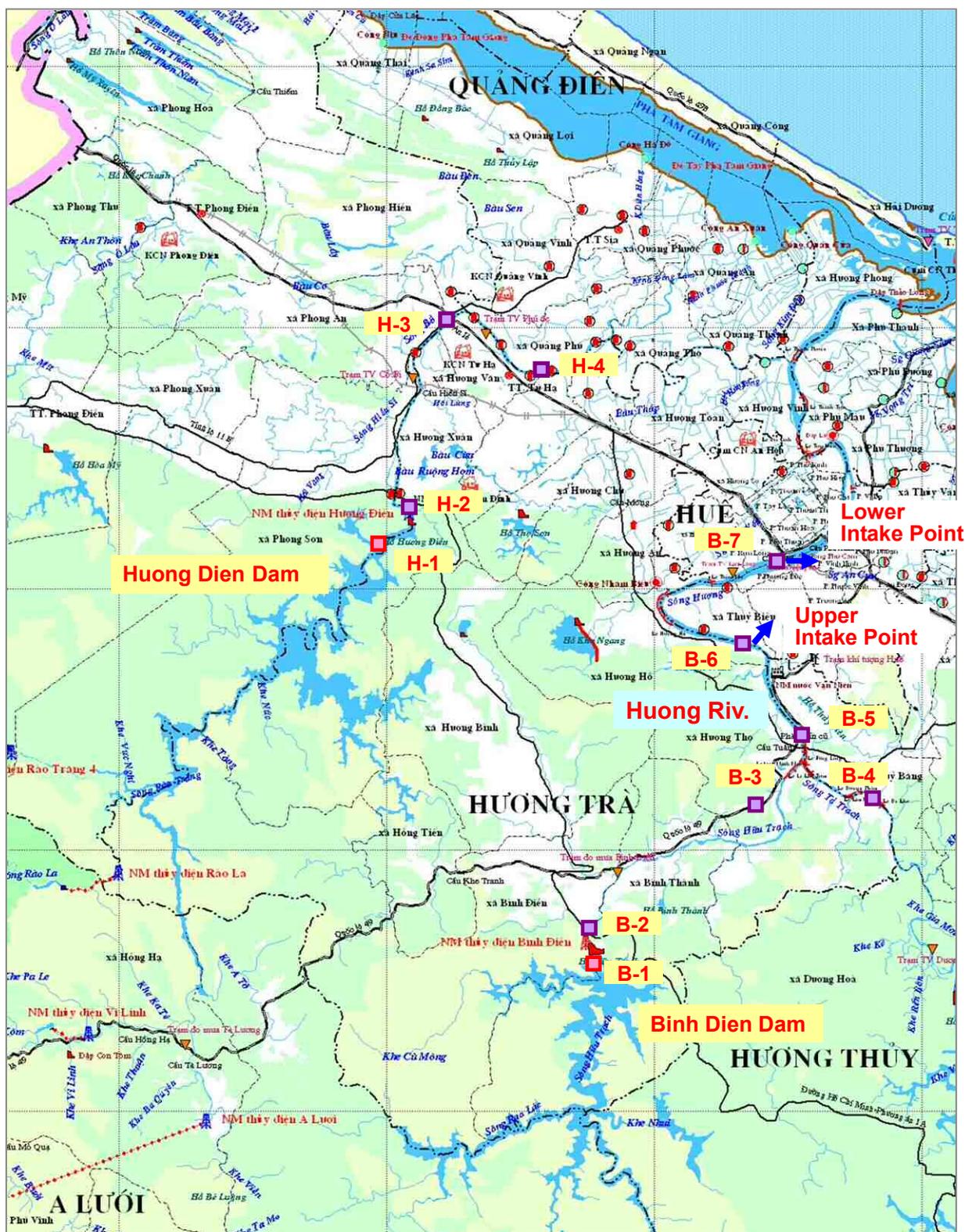


図 1.6.3.3 水質調査地点位置図

(3) 調査地点の設定と概要

Huong Dien ダムは Bo river の上流、Binh Dien ダムは支流 Huu Trach 川の上流に位置する。Huu Trach 川は Ta Trach 川支流と Tuan triangle で合流して Huong 川となり、フエを横断する。Huong 川の水はフエ全体に供給されており、Bo 川、Huong 川沿いの住民も河川水を生活用水として利用している。本調査では、ダムの嫌気状態と下流河川への影響、特に水道水源への影響を調べるため、表 1.6.3.3 に示す調査地点を設定した。

表 1.6.3.3 各調査地点の概要

ダム名	調査地点番号	調査地点の概要
Binh Dien	B-1	Binh Dien 貯水池内ダムサイト上流 200m地点 (≒最深部)
	B-2	ダム直下流(Huu Trach 川)
	B-3	本川合流前(Huu Trach 川)
	B-4	支川合流前(Ta Trach 川)
	B-5	支川合流地点から 1 km 下流 (Huong 川)
	B-6	取水地点上流側(Huong 川)
	B-7	取水地点下流側 (Huong 川)
Huong Dien	H-1	Huong Dien 貯水池内ダムサイト上流 200m地点 (≒最深部)
	H-2	ダム直下流(Bo 川)
	H-3	河川下流地点 (Bo 川)
	H-4	河川下流地点 (Bo 川)

①Binh Dien 貯水池ダムと Huong 川

◆Point B-1 (貯水池ダムサイト)

- ・貯水池内の調査地点：ダムサイトから上流約 200m (概ね最深部)
- ・調査日(2012. 12. 17)の水位は 57.3m (最低水位 53m)との報告 ・調査地点実測水深: 36.6m



図 1.6.3.4 Binh Dien ダム 調査地点 (B1) の状況

◆Point B-2 : ダム直下流 (Huu Trach 川), ダム堤体から約 200m 下流地点

- ・調査地点は発電所の直下流。調査時は稼働していなかったため流水幅は狭い。
- ・ダムからの Fe 濃度の高い水が放流されるためか、下流河川の河床には、はっきりと鉄が付着し、茶褐色を呈している。



図 1.6.3.5 Binh Dien ダム直下流地点 (B2) (Huu Trach 川)

◆Point B-3 : 本川合流前、Huu Trach 川、Tuan 川合流地点から約 2km 上流

- ・Huu Trach 川 は Binh Dien ダム貯水池の主要河川である。B3 地点には Binh Dien 貯水池の水が直接流れ込んでいる。
- ・河岸に居住地が見られる。調査地点実測水深：2.8m 程度。
- ・現地調査当日、水はかなり濁っていた。



図 1.6.3.6 本川合流前地点 (B-3) (Huu Trach 川)

◆Point B-4 : 支川合流前、Ta Trach 川 (Huong 川右岸の支流)、Tuan 川合流地点から約 2km 上流

- Ta Trach 川 は Ta Trach 貯水池から直接水が流れ込む Huong 川の主要河川である。Ta Trach 貯水池は Thua Thien Hue 省内で最大の灌漑用貯水池で、底部に嫌気条件の影響を受けている可能性がある。
- 河岸には、まばらに居住地がある。 ・ 調査地点実測水深 : 5.4 m
- 水はかなり濁っていた。



図 1.6.3.7 支川合流前地点 (B-4) (Ta Trach river)

◆Point B-5 : Huong 川上流点 Ta Trach、Huu Trach の各支川が合流する Tuan 合流地点より 1 km 下流、Tuan 橋より約 500m 手前の地点

- Huong 川の最上流地点、支流の合流地点より約 1km 下流。
- 河岸は人口密度が高い。
- 調査地点実測水深 : 5.5 m

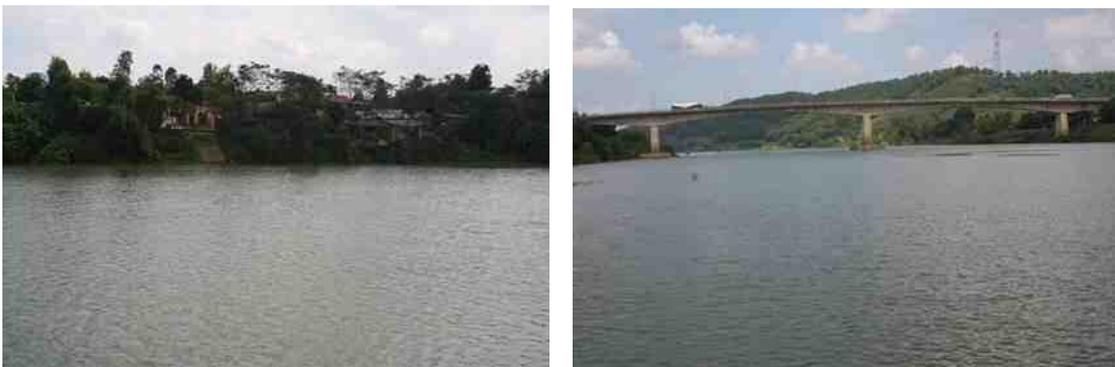


図 1.6.3.8 Huong 川最上流地点 (B-5) Ta Trach 川、Huu Trach 川合流点より 1km 下流

◆Point B-6 : Huong 川における上流側上水水源取水地点。フエ市に水を供給する Van Nien (and Quang Te II) Water Plant のポンプ場から近い場所を設定。

- ・ Binh Dien Dam から供給される水の水質を評価できる場所を選定。
- ・ 河岸の居住地は比較的まばらである。
- ・ 調査地点実測水深：13.2m 表層、底部ともに採水・分析する。
- ・ 水の濁りは少ない。



図 1.6.3.9 Huong 川における上流側上水水源取水地点 (B-6) (Van Nien Water Plant のポンプ場取水地点付近)

◆Point B-7 : Huong 川における下流側上水水源取水地点。フエ市に水を供給する Da Vien Water Plant のポンプ場取水地点に近い場所を設定。

- ・ フエ市にある Da Vien bridge に近い、Huong 川の下流地点。
- ・ フエ市の古い浄水施設に供給される原水水質を評価するための取水地点。河岸の居住地は比較的まばらである。
- ・ 調査地点実測水深：4m 堆積が進んでいるためか、上流の取水点より水深が浅い。
- ・ 水面、底層部ともに採水する。
- ・ 水の濁りは少ない。



図 1.6.3.10 Huong 川における上流側上水水源取水地点 (B-6) (Van Nien Water Plant のポンプ場取水地点付近の状況)

②Huong Dien ダム

◆Point H-1：Huong Dien ダム貯水池ダムサイト

- ・貯水池内調査地点、ダムサイトから上流約 200m（概ね最深部）
- ・調査日（2012. 12. 17）の水位は 47m（利用最低水位 43m）との報告
- ・調査地点実測水深：44. 2m



図 1. 6. 3. 11 Huong Dien ダム調査地点（H-1）の状況

◆Point H-2：ダム直下地点、ダム堤体から約 500m 下流地点

- ・発電所外の調査地点。
- ・Binh Dien Dam と同様、ダムからの放流水中の Fe 濃度が高いためか、河床に鉄が付着している。



図 1. 6. 3. 12 Huong Dien ダム直下流地点（H-2）の状況

◆Point H-3 : Huong Dien ダムからの放流の影響を受ける Bo 川地点

- ・調査地点は、国道1号線 沿いの An Lo 橋地点
- ・市場もあり、人口の多い地域。



図 1.6.3.13 Bo 川調査地点 (H-3) の状況

◆Point H-4 : Bo 川下流地点

- ・調査地点は、Tu Ha town の Tu Phu 橋
- ・人口密度の高いエリア。この地点の水は Tu Ha Water plant に供給され、地域住民が生活用水に利用している。
- ・Bo 川はさらに下流で (Phu Thanh 地区) Huong 川 と合流し、その後、海に流れ込む。
- ・ただし、Bo 川の水が、Huong 川の Water Plant への水供給に影響を及ぼすことはない。



図 1.6.3.14 Bo 川調査地点 (H-4) の状況

(4) 水質測定と採水

①ダム水質の測定と採水地点（水深方向）

ダム貯水池内においては、水面（表面から 0.5m 地点）から底部までを対象に、図 1.6.3.15 に示すように 7 項目 (DO, pH, 水温, 濁度, 導電率, ORP, 水深) を水深方向に連続的に測定する。

また、水面（表面から 0.5m）、中層部と底部（底から 0.5m）の 3 水深で採水を行い、Fe と Mn 濃度を現地にて分析した。

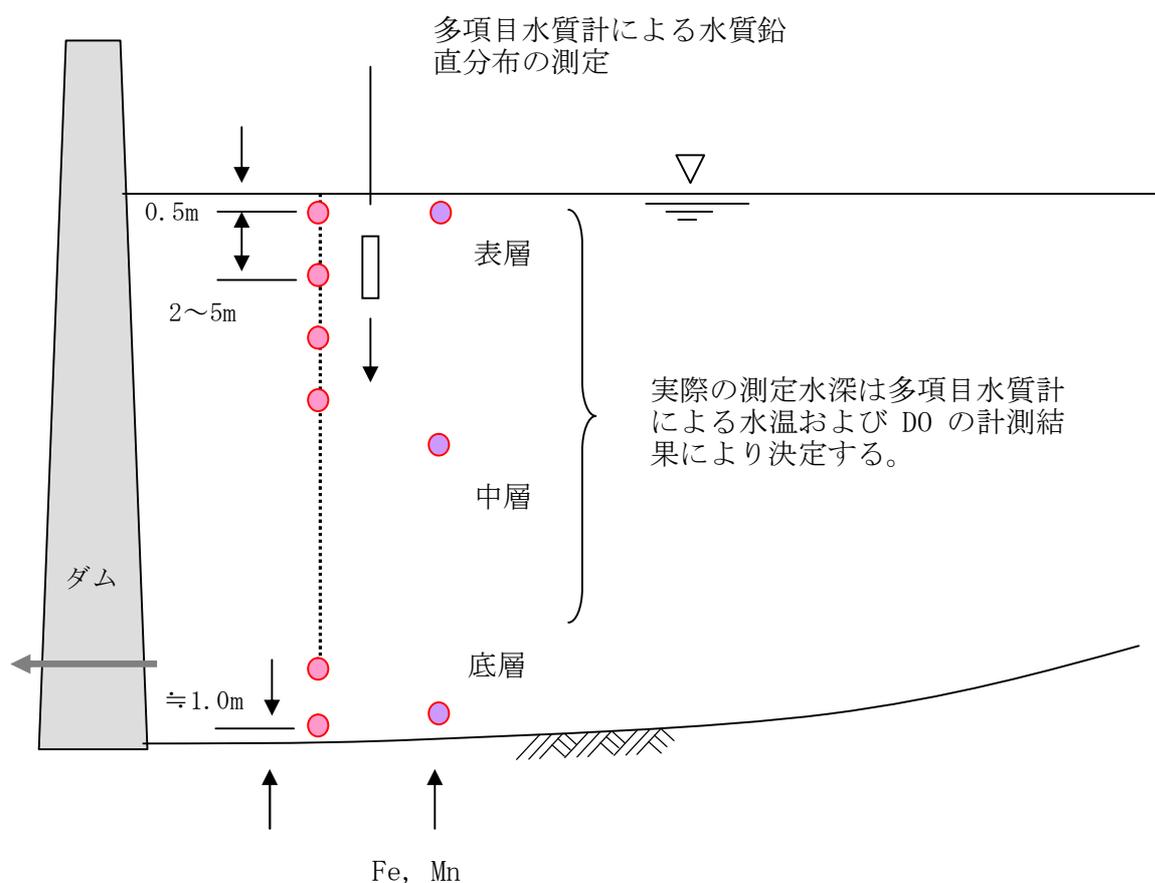


図 1.6.3.15 ダム貯水池内調査地点における水深方向の観測地点イメージ

②測定装置

水質の測定・分析に用いた主な機材は、つぎのとおりである。

◇多項目水質計の概要（ダムサイト水質鉛直分布測定用）

- ・ 堀場製作所製、W-22XD 水深 100m まで測定可能
- ・ 対象項目は、図 1. 6. 3. 16 に示す 7 項目。

Control Unit

Cables
W-002C 2m
W-010C 10m

Multi-Probe
Sensor probe with built-in sensors (depth, conductivity, temperature, turbidity)

W-22XD
Packing List
pH4 standard solution, Reference solution, Calibration beaker, Batteries, Instruction manual, Consumables

W-23XD
Packing List
pH4 standard solution, Reference solution, Ion auto-cal solution, Calibration beaker, Batteries, Instruction manual, Consumables

U-22XD SET measurement parameters

Maximum probe size	47mm
pH	●
Dissolved oxygen	●
Conductivity	●
Salinity	●
Total dissolved solids (TDS)	●
Seawater specific gravity	●
Temperature	●
Turbidity	●
Depth	●
Oxidation reduction potential (ORP)	●
Data logging	●

このタイプを使用

(資料：堀場製作所 HP 掲載のカタログより編集)

図 1. 6. 3. 16 多項目水質計の概要

◇採水器

採水器は図 1.6.3.17 に示す Wildlife Supply Company 社製の Beta Water Sampler (最大水深 100m) を使用。採水容量 4.2L。本体は、アクリル製。



図 1.6.3.17 採水に用いた採水器の概要

◇Fe, Mn 測定器

Fe, Mn の測定には、Hach 社製のポータブル水質分析計 (小型吸光光度計) DR/890 Portable Colorimeter を用いた。

採水器で採水した試料を、本分析計を用い Fe, Mn の濃度を現地にて計測する。



図 1.6.3.18 Fe, Mn 測定用ポータブル水質分析計の概要

(5) 調査スケジュール

調査スケジュールは、表 1.6.3.4 のとおりである。

表 1.6.3.4 T. T. Hue 省での現地調査スケジュール

日付		開始	終了	計画	備考
12/15	土	11:20	13:00	Hanoi から Hue に移動	
		14:30	17:30	現地調査の機器準備	
12/16	日	8:30	9:30	メンバー全員で環境モニタリングセンターにおいて打合せ(Hue 大学)	
		9:40	17:00	サンプリングのスケジュールの再調整および現地調査の位置の確認	
12/17	月	8:00	19:00	Binh Dien 、 Huong Dien ダム貯水池 および Bo 川下流地点における現地調査	自動車による
12/18	火	8:00	17:00	Huong 川における現地調査	ボートによる

1-6-4. 調査結果

本調査は雨季にあたる12月に行われたが、2012年は非常に降雨が少なく、両ダムともに発電最少水位を約1~2m上回る程度の貯水状況であった。Huong Dien、Binh Dienダムの発電所の稼働は1日あたり数時間ほどで、ダムの水は農業灌漑用に貯水されていた。

(1) Binh Dien ダム

多項目水質計によるD0等の鉛直分布観測結果を、図1.6.4.1に示した。また、水深別のFe、Mn分析結果を表1.6.4.1に示した。

- ・図1.6.4.1に示すように、12月半ばを過ぎているにも関わらず、Binh Dienダムでは明瞭な水温成層が形成され、水深20m以深ではD0濃度が大きく減少し、貧酸素化現象が生じている。
- ・伝導率、ORPデータによると、水深20mで酸化から還元状態に転じていることが明瞭に捉えられている。
- ・その結果、表1.6.4.1に示すように、底層部のFe、Mnの濃度は極めて高く、貧酸素化によって底泥等からFe、Mnの溶出が促進されていることを示す結果となっている。
- ・表1.6.4.1には、参考としてベトナム国における地表水の環境基準値(QCVN 08-2008)を示したが、Binh Dienダム貯水池底層のFe濃度は河川水等を生活用水として用いる場合の基準の約46倍の濃度となっている。

表 1.6.4.1 Binh Dien ダムにおける各層別の Fe, Mn 分析結果

試料	試料採取地点	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)
B1-1	表面(表面から20cm下)	0.27	0.033
B1-2	中層(水深15m)	1.02	0.488
B1-3	底層(底から1m上)	23.2	5.69
	QCVN 08-2008 (A1) ※	0.5	
	WHO guideline	1-3	0.4

※A1：生活用水として用いる場合の基準

第1章 対象国における当該開発課題の現状及びニーズの確認

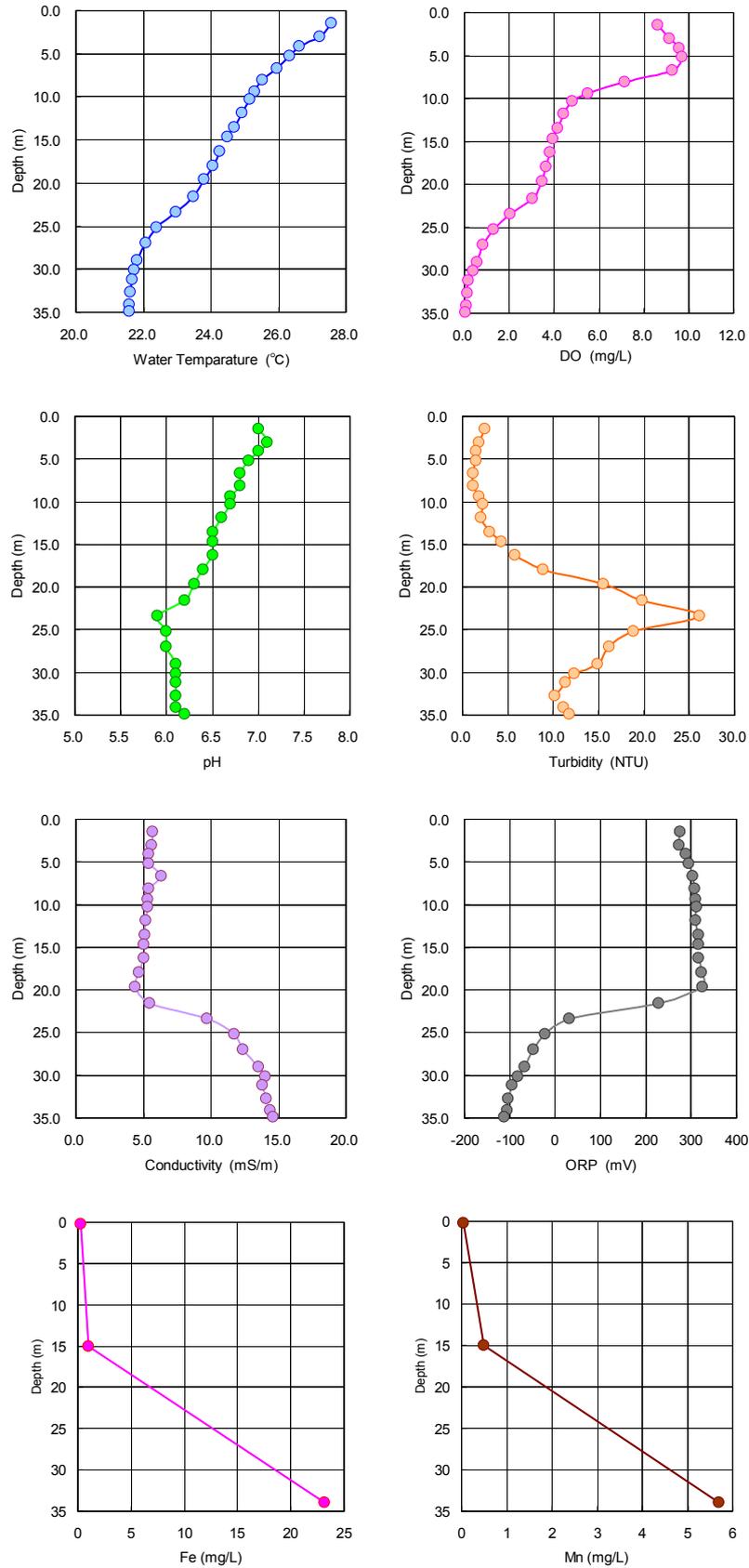


図 1.6.4.1 Binh Dien ダム貯水池における水質鉛直分布調査結果 (2012. 12. 17 調査)

(2) Huong Dien ダム

多項目水質計による DO 等の鉛直分布観測結果を、図 1.6.4.2 に示した。また、水深別の Fe, Mn 分析結果を表 1.6.4.2 に示した。

- Huong Dien ダム貯水池は運用が開始されて3年が経過している比較的新しいダムであるが、本ダムにおいても明瞭な水温成層が形成され、水深20m以深ではDO濃度はほとんど0となっており、明らかな貧酸素現象が生じている。
- 伝導率、ORP データによると、水深20mで酸化から還元状態に転じていることが明瞭に捉えられている。
- その結果、表1.6.4.2に示すように、底層部のFe、Mnの濃度は極めて高く、貧酸素化によって底泥等からFe、Mnの溶出が促進されていることを示す結果となっている。
- 表1.6.4.2には、参考としてベトナム国における地表水の環境基準値(QCVN 08-2008)を示したが、Huong Dien ダム貯水池底層のFe濃度は河川水等を生活用水として用いる場合の基準の約15倍の濃度となっている。

表 1.6.4.2 Huong Dien ダムにおける各層別の Fe, Mn 分析結果

試料	試料採取地点	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)
H1-1	表面(表面から20cm下)	0.08	0.027
H1-2	中層(水深15m)	0.31	0.254
H1-3	底層(底から1m上)	7.6	2.78
	QCVN 08-2008 (A1) ※	0.5	
	WHO guideline	1-3	0.4

※A1：生活用水として用いる場合の基準

第1章 対象国における当該開発課題の現状及びニーズの確認

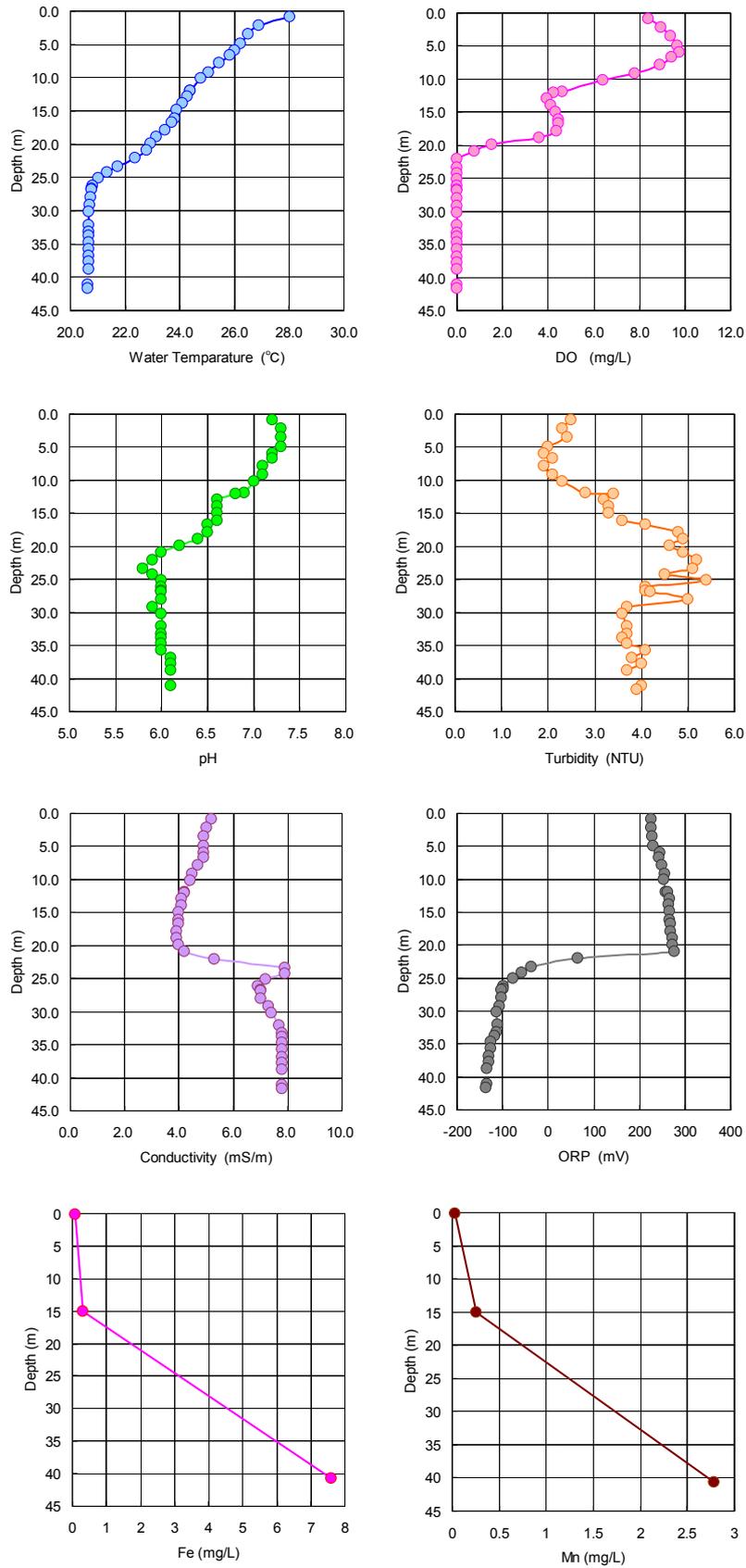


図 1.6.4.2 Huong Dien ダム貯水池における水質鉛直分布調査結果 (2012. 12. 17 調査)

(3) Huong 川の水質 (Binh Dien ダムからの水の供給)

- Huong 川での水質調査結果を表 1.6.4.3 に示す。今回の調査では、ダムからの放流が行われていない条件下での水質調査である。調査項目のうち Fe については、各地点とも表層の濃度は高くないが、上水原水を取水している B-6 および B-7 地点の底層で濃度が高くなっている。
- Mn も同様であるが、今回の調査結果によると、ダム直下の B-2 でも比較的値が高くなっている。

表 1.6.4.3 Huong 川での水質調査結果

試料	試料採取地点	pH	DO (mg/L)	濁度 (NTU)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)
B-2	ダム直下	6.6	3.9	3.5	0.52	1.3
B-3	本川合流前、Huu Trach 川	7.1	7.8	6.9	0.43	0.019
B-4	支川合流前、Ta Trach 川	7.1	8.2	15.7	0.42	0.047
B-5	支川合流から 1 km 下流 - Tuan 橋	7.2	8.3	10.9	0.65	0.034
B-6	上流側上水水源取水地点。フエ市に水を供給する Van Nien (and Quang Te II) Water Plant のポンプ場から近い場所					
	表面	7.0	8.3	7.9	0.44	0.035
	底層	6.5	5.8	26.6	5.3	0.56
B-7	下流側上水水源取水地点。フエ市に水を供給する Da Vien Water Plant のポンプ場取水地点に近い場所					
	表面	7.0	8.3	7.9	0.62	0.048
	底層	6.8	7.4	9.9	5.86	0.239
	QCVN 08-2008				0.5	
	WHO guideline				1-3	0.4

(4) Bo 川の水質 (Huong Dien ダムからの水の供給)

- Bo 川での調査結果を表 1.6.4.4 に示す。Bo 川の各地点も Huong Dien ダムからの放流がない状況での調査結果である。
- Huong Dien ダム下流の河川においては、今回の調査では、Fe, Mn 濃度が高い地点は認められなかった。

表 1.6.4.4 Bo 川での水質調査結果

試料	試料採取地点	pH	DO (mg/L)	濁度 (NTU)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)
H2	ダム直下地点	6.5	8.0	126	0.34	0.052
H3	ダムからの放流の影響を受ける Bo 川地点- An Lo 橋	6.7	8.4	198	0.809	0.114
H4	Bo 川下流地点- Tu Phu 橋	6.5	8.7	222	0.547	0.062
	QCVN 08-2008				0.5	
	WHO guideline				1-3	0.4

(5) Huong 川の水質調査結果 (2005-2011)

水道原水を取水している Huong 川の水質特性の充実を図るため、関係機関より 2005 年から 2011 年までの Huong 川の調査データを入手した。調査地点位置を図 1.6.4.3 に示す。調査頻度は年 12 回実施している。また、本調査の調査地点との関係を表 1.6.4.5 に示した。このうち数か所は今回の調査地点と一致している。なお、採水水深は、すべて表層である。

表 1.6.4.5 Huong 川における既往水質調査の地点と今回調査地点との関係

試料	試料採取場所	座標		対応
		東経	北緯	
SH1	支流 Ta Trach 川	107° 34' 424	16° 23' 262	B4
SH2	支流 Huu Trach 川	107° 34' 303	16° 23' 115	B3
SH3	Van Nien ポンプ場	107° 34' 195	16° 25' 057	B6
SH5	Dong Ba 市場 Hue 市内	107° 35' 403	16° 28' 125	
SB10	Bo 川, Sinh 合流前 1.5km 上流	107° 34' 408	16° 31' 155	H4 の下流

第1章 対象国における当該開発課題の現状及びニーズの確認

この調査では、河川水の金属含有の代表的なものとして Fe のみ測定している。最近数年間の測定結果を整理したものを表 1.6.4.6 に示す。

- これによると、2007年、Binh Dien 水力発電所が操業を始めてから、Huong 川のFe濃度は著しく高くなっている。各年12回の測定の平均値から、水面のFe濃度は 10倍から15倍になったことがわかる。
- 2007年のデータによると、発電所操業開始から数か月後にFe濃度が高くなり始めている。
- Bo river 水系では、2007年より、Huong川と合流する前の下流域の1地点で調査が始まった。結果をみると、2009年、Huong Dien 水力発電所が稼働を始めてからBo川のFe濃度が2、3倍になっている。
- この調査によるデータは、フェ市による測定事業と同じような数値を示している。

表 1.6.4.6 Huong 川及び Bo 川における Fe 濃度調査結果 (平均値±標準偏差, mg/L)

	SH1 (B4)	SH2 (B3)	SH3 (B6)	SH5	SB10
2005	0.03±0.005	0.03±0.005	0.03±0.005	0.03±0.005	
2006	0.02±0.007	0.03±0.008	0.03±0.009	0.03±0.01	
2007	0.11±0.07	0.14±0.06	0.15±0.08	0.16±0.07	0.22±0.05
2008	0.15±0.04	0.15±0.04	0.17±0.03	0.17±0.04	0.18±0.03
2009	0.25±0.12	0.53±0.48	0.38±0.24	0.41±0.31	0.42±0.18
2010	0.28±0.16	0.42±0.31	0.42±0.19	0.47±0.25	0.45±0.25
2011	0.29±0.15	0.34±0.16	0.39±0.2	0.45±0.2	0.34±0.15

Binh Dienダム供用開始



Huong Dienダム供用開始

1-6-5. 問題に対する検討

(1) ダム底部の嫌気状態

ダム貯水池では、温度成層により水塊の垂直混合が抑制されている。富栄養化したダムの底部では、有機堆積物が生物分解する過程で溶存酸素 (DO) が速やかに消費される。温度成層が進む一方、水面からの酸素は底部まで到達しないため、富栄養化したダムでは深層部が無酸素状態に陥りやすくなる。DOが消耗すると、リン酸塩やアンモニア、また鉄・マンガンなどの金属イオンが底質から溶出する。また極度の成層形成で水面に浮遊性の植物プランクトンが蓄積し、嫌気問題を引き起こして、シアノバクテリアの大量発生により水質が悪化する。

る可能性がある。よって、富栄養化したダム成層は、ダムの環境問題を検討するうえで重要な現象である。

深層部が嫌気化すると、FeやMnなどの金属が溶出し、堆積物から移動して貯水池に発現するようになる。(Wann et al., 1997).

マンガンは地表において5番目に豊富な元素で、遷移元素としては鉄に続いて2番目に多いにもかかわらず、いまだ不明な部分の多い元素である。ある程度の酸化状態があり、自然水のようにpHが低い環境での酸化速度が遅い。自己触媒、共沈物であるだけでなく、結合能が強い。(Nealson et al., 1988). 熱力学的に不利ではあるが一定して水溶性のため、鉄に比べて非常に簡単に水中へ溶出する。(Wann et al., 1997) 酸素が減少するとすぐに還元し、有酸素・無酸素の境界では特に還元速度が速い。

マンガンの酸化還元プロセスは、生物地球科学的・科学的酸化作用である。(Nealson, et al., 1988) 水処理業界にとっては厄介な汚染物質で、継続的に酸素を消費し、堆積物から容易に上部の水層へ還元・移動するため、水層からマンガン除去(酸化、沈殿)し底質に埋めることは困難である。一方、鉄は有酸素・無酸素境界において酸素があればたやすく酸化(化学酸化のみ)するため、マンガンよりずっと管理しやすいといえる。しかし水処理において溶解金属を効果的に除去できる可能性がある一方、最近の研究ではマンガンが沈殿池で再溶解するという現象も明らかになっている。堆積した汚泥中で無酸素状態となるからである。(Budd et al., 2007).

鉄、マンガンは堆積物中で結合する一方、溶解した酸素はその周りで水中に存在する。嫌気条件では、鉄とマンガンを溶解するため、その後の水処理で除去しなければならない。かび臭などの異臭味の問題は、秋の循環期後に藻が異常発生するためである。循環期における堆積物からの湖内富栄養化を防ぐことで、藻の異常発生を抑え、水質問題を防ぐことができる。これらすべての要素が飲料水の水質、処理性を悪化させている。

ダムで採水した水は、ICP-MS(誘導結合プラズマ質量分析装置)で保存・分析を行った。その結果によると、ダム底部はFe、Mnの他、As、Ca、Mgなどの金属の濃度も高い結果となった。

(2) 水道原水への影響

Huong Dien, Binh Dien 発電所が稼働を始めてから、河川の水質は著しく悪化した。Bo 川、Huong 川は、地域住民の生活用水の主な供給源である。フエ市への供給源は主に Quang Te Water Plant II (Huong river より取水する Van Nien Water Plant からの原水、供給量 27,500 m³/day)と Da Vien Water Plant (Huong river からの原水、供給量 12,000 m³/day)、Tu Ha Water Plant (Bo river からの原水、供給量 12,000 m³/day)である。このように、河川水は人々の飲料水の質に直接影響している。

定期的な河川水測定事業では、採水は過剰酸素状態である水面で行うため、Fe含有量は深水部に比べ非常に少ない。しかし調査結果によると、Fe、Mnは河川の水面付近より底部に大量に堆積している。よって、Tu Ha, Van Nien and Da Vien water plant のポンプ場の位置は非常に重要で、慎重に検討しなければならない。

1-6-6. 確認された問題のまとめ

Binh Dien・Huong Dien ダムにおける貧酸素化現象に関する調査は、今回の調査のみであるが、関連する調査結果を含め問題点を整理すると、つぎのとおりである。

- ◇対象ダム貯水池の水深 20m 以下で、明らかな貧酸素化現象が見られた。溶存酸素 (DO) が低下し無酸素状態となって、底層部の金属イオン濃度が変化した。特に Fe と Mn の現存量が急激に増えている。
- ◇ダム下流河川の水質も明らかに変化している。Binh Dien ダム運用開始後、Huong 川の水質は著しく変化した。河川水表面層の Fe と Mn が 10 倍も増加している。Huong Dien ダム運用開始後の Bo 川でも同じ状況がみられる。Fe と Mn の含有量が深度によって変化しており、特に底部で非常に数値が高い。
- ◇フエの水道公社へヒアリングを行った結果、上記の Fe、Mn の上昇に伴い、浄水場での薬品使用量が大幅に増加するなど、浄水処理に苦慮しているとのことである。Fe、Mn の上昇原因は、上流ダムの貧酸素化によることは明らかであり、安全で経済的な水道水を供給するため、水道事業サイドでは、ダムにおける貧酸素化問題の改善を強く望んでいる。

1-7. 現地での具体的な問題把握2(サフォンダム)

ベトナム国でのダムでの貧酸素化による水質問題を具体的に把握するため、ハノイ市に隣接したビンフック省にある貯水池について調査された結果をとりまとめた。

(1) サフォンダム貯水池の概要と問題

ベトナム国、ビンフック省のサフォン貯水池を、さまざまな水深で溶存酸素のモニタリングを行うケーススタディとして検討した。サフォン貯水池は、首都ハノイから約 60 km 北西のタムダオ地区のミンクアン区コントラウ渓谷に位置する。この貯水池は 13×10^6 m³ 以上の貯水容量を持ち、流域面積は 24 m² である。ビンスエンのタムダオおよびタムドン地区の 1,980ha 以上の農地に灌漑用水を供給する。

サフォンダム貯水池は、深さ約 40 m の大きな灌漑用のダム貯水池である。タムダオ町のふもとに位置し、毎年水流によって町から大量の有機物に富んだ廃水が流れてくる。ダム貯水池の汚染は、冬よりも夏に増加する。その理由として、夏に気温が高くなることによって生化学的過程が強まることと同様に、タムダオを訪れる観光客の数が夏になると増加することがあげられる。この状況は、水中に溶けた酸素の量を著しく減少させる。ダム貯水池の南東には、大規模な採石場がある。現地調査によると、採石場から発生する粉塵が大気汚染を起し貯水池の重要な領域を覆ってしまうことで、藻や水生植物の光合成を減少させると報告されている。これは、表層水における DO 濃度（溶存酸素濃度）に対する影響の 1 つである。

以下に MARD 傘下の VAWR の調査による現地での問題を記述した。

「水生生物には、一般に約 5 mg/L 以上の溶存酸素濃度が必要とされ、これは一般的な表層水が満たす条件である。しかし、現状で、本ダムと遠く離れた下流でもこの基準が満たされていない可能性があり、規制を設けて基準を満たすよう管理するようになった。ダムの深層部には酸素供給能力がない。そこは一般的に、光が届かないほど深いので光合成が行われない。有機物が上から大量に注ぎ込み、バクテリアにより分解され有機負荷を加え酸素を消費する。また春から夏にかけて、酸素濃度は徐々に減少する。その上、ダムの水は大量の溶存水と浮遊有機物を含み、それらが分解するとき生物・化学的酸素要求量に影響を及ぼし、溶存酸素はさらに減少する。時折発生する水の流入によって流れ込む有機物も、酸素補給が追い付かず分解されない。実際、洪水時には大量の水生・陸生植物が流入している。低酸素、または無酸素状態に陥った水の周囲では、溶解鉄やマンガンが減少する化学反応が起き、堆積物中のリン酸塩が増加、硫酸塩が硫化水素に変化するが、これらの現象はすべて上位の水中生物の生存を妨げ、水環境を汚染する。生産性が非常に高いダム、つまり、栄養が豊富で生物活性の高いダムでは、深刻な低酸素・無酸素状態を引き起こすことになる。」

サフォンダム貯水池の設計諸元

- ・流域面積 ; 24.0km²
- ・総貯水量 ; 13.43×10^6 m³
- ・ダムの高さ ; 41m
- ・貯水池の最大水深 ; 39.5m



図 1.7.2 サフォン貯水池のダムサイトの景観



図 1.7.3 サフォンダム貯水池の湖面とダムの様子

(2) D0 の測定地点

この貯水池での具体的な問題把握ため D0 の測定を行った。測定地点は、湖沿いに溶存酸素量の変化を評価するため湖の流れに沿って設定した。また、ダムの周辺地域の大部分でより大きな影響を受けていると思われる 3 箇所を選択した（ゴルフコースの影響、採石の影響、周囲の住宅区域に住む人の活動による影響を含む）。また、中国からの河川が貯水池に流れ込む位置で、ナムダオから貯水池への廃水の影響を評価するためにモニタリングを行った。



図 1.7.4 水質測定地点の位置図

(3) 測定方法

水質測定器である Hatch sension 156 を使用して、D0 濃度の迅速なモニタリングを行った。Hatch sension 156 は水面（1m 未満）のみを観測する装置である。このため、それより深い箇所から採水できる採水器を使用しサンプルを採取したのち、水質測定器によって D0 を測定した。



図 1.7.5 地点 XH 4 における表層での D0 計測の状況



図 1.7.6 地点 XH 5 での深層部での DO 計測用の採水状況

(4) サフォンダムでの DO 測定の結果

各ポイントで3つの水層のモニタリングを行った。1つは表層部（0.5m 未満）、2つ目は中層部（約 5m）、3つ目は深層部（約 20m）である。XH1、XH2、XH3、XH7 は、湖底部が浅いことから、約 20m の深層部ではサンプルを採取することができなかった。モニタリングの結果を表 1.7.1 に示した。

表 1.7.1 サフォン貯水池の溶存酸素量

名称	位置		溶存酸素 (mg/l)		
			表層 (0.5m 未満)	中層 (水深約 5m)	深層 (水深躍 20m)
XH1	0566170	2367127	5.7	5.1	浅くて採水できず
XH2	0566215	2367069	6.1	4.9	浅くて採水できず
XH3	0566283	2366999	4.9	4.8	浅くて採水できず
XH4	0566783	2367156	5.6	3.8	0.4
XH5	0567195	2367446	5.8	4.2	0.3
XH6	0567133	2367917	5.1	2.5	0.2
XH7	0567015	2368109	4.6	-	浅くて採水できず

観測時間は、DO 濃度が 1 日の中で最も高い時間である午後 2時から午後 5 時の間で計画した。観測時には、微風が表層の DO 量を増加させる。気温は 14℃で、水温は 16℃から 17℃であった。注目すべきは、より温度が低いほど DO 濃度は大きくなるということである。しかしながら、サンプリングを行う地域には雲が垂れ込めているため、DO 濃度に大きな影響があると考えられた。

表1.7.2 ベトナム国での地表水(公共用水)の水質環境基準(QCVN:2008/BTNMT)①

番号	項目	単位	濃度		
			A1	A2	B
1	pH	—	6-8.5	6-8.5	
2	溶存酸素	mg/l	≥ 6	≥ 5	
3	浮遊物質	mg/l	20	30	
4	COD _{Cr}	mg/l	10	15	
5	BOD ₅ (20°C)	mg/l	4	6	
6	アンモニア性窒素 N-NH ₄ ⁺	mg/l	0.1	0.2	
7	塩素 (Cl ⁻)	mg/l	250	400	
8	フッ素 (F ⁻)	mg/l	1	1.5	
9	亜硝酸性窒素 NO ₂ ⁻	mg/l	0.01	0.02	
10	硝酸性窒素 NO ₃ ⁻	mg/l	2	5	
11	リン酸塩 PO ₄ ³⁻	mg/l	0.1	0.2	
12	シアン化合物 CN ⁻	mg/l	0.005	0.01	
13	ヒ素	mg/l	0.01	0.02	
14	カドミウム	mg/l	0.005	0.005	
15	鉛	mg/l	0.02	0.02	
16	三価クロム Cr ³⁺	mg/l	0.05	0.1	
17	六価クロム Cr ⁶⁺	mg/l	0.01	0.02	
18	銅	mg/l	0.1	0.2	
19	亜鉛	mg/l	0.5	1.0	
20	ニッケル	mg/l	0.1	0.1	
21	鉄	mg/l	0.5	1	
22	水銀	mg/l	0.001	0.001	
23	界面活性剤	mg/l	0.1	0.2	
24	油脂類	mg/l	0.01	0.02	
25	フェノール	mg/l	0.005	0.005	
26	農薬				
	アルドリン+ディルドリン	µg/l	0.002	0.004	
	エンドリン	µg/l	0.01	0.012	

出典) 日本国環境省公表資料

<http://www.env.go.jp/air/tech/ine/asia/vietnam/files/pollution/pollution.pdf>

表1.7.3 ベトナム国での地表水(公共用水)の水質環境基準(QCVN:2008/BTNMT)②

番号	項目	単位	濃度	
			A1	A2
	パラチオン マラチオン	µg/l	0.1	0.32
28	除草剤			
	2,4D	µg/l	100	200
	2,4,5T	µg/l	80	100
	パラコート	µg/l	900	1200
29	全アルファ線強度	Bq/l	0.1	0.1
30	全ベータ線強度	Bq/l	1.0	1.0
31	大腸菌	MPN/100ml	20	50
32	大腸菌群数	MPN/100ml	2500	5000

注：異なる目的で利用される水質を評価及び管理するために、地表水は以下のように区分さ

出典) 日本国環境省公表資料

<http://www.env.go.jp/air/tech/ine/asia/vietnam/files/pollution/pollution.pdf>

モニタリングの結果では、調査当日に雨が降ったため、鉱山からの粉塵による DO 低下の影響が少なかった日とされる。ダム管理のマネージャへの聞き取りでは、ダムは乾燥し風がふくと、粉塵による影響は極めて大きくなるとのことである。そうなれば、さらに水域の DO 濃度は減少すると見込まれた。また、チュンクオック川周辺の地域ではタムダオからの廃水の影響が湖の状態を悪くしているため、この地域における DO 濃度は他の地域と比較すると著しく低く、水底付近での DO は急速に低下する。これは、主な汚染物質が分解を加速するためであり、そのためこの地域の底層では嫌気性活動の影響が非常に大きい。

(5) サフォンダム貯水池の DO 測定結果から得た知見

調査結果では、表層水の DO はベトナム国の基準(表層水の水質に関する国家技術基準 QCVN 08:2008 / MONRE (天然資源環境省) の B2) を満たすことを示したが、ダム貯水池のより深い層では DO が減少し基準を満たしていなかった。モニタリングポイント XH4、XH5、XH6 における水深約 20m の結果は、DO 濃度が 1mg/L 未満であることを示した。ダム貯水池の最大水深は 39.5m あり、この水深 20m の深度では湖底ではなかった。

最近の報告によると、農薬および肥料施設を有するタムダオゴルフコース(サフォン主ダムの横に位置する)からの排水は自然環境へ直接排出され、地域の表層水および地下水資源を汚染している。ミンクアンの住民は、住宅地区の主要な水源である地下水の汚染の問題について検討した。その結果、貯水池の DO 濃度を高めるために放水(貯水池から下流に放出された水)にベトナム国の基準 QCVN 08:2008/MONRE レベル A1 (生活用水としての利用に関する基準) を満たすために合理的な対策が必要とされた。

1-8. ダム所管機関に対するニーズ調査

本事業のC/Pとしての可能性のある機関を調査すること、およびダム建設に伴い貧酸素化による水環境悪化の問題がないか把握することを目的として、ダムの建設と管理等を所管する政府機関にヒアリングを行った。

(1) ダム所管機関に対するニーズ調査の機関名と実施日程

対象機関と日程は以下のとおりであった。

表1.8.1 関係機関との面談協議の日程

年月日	協議先機関名	先方のおもな出席者	備考
2012. 11. 14	MOIT 水力発電部	水力発電部長	事前調査
2012. 11. 14	MARD 科学技術国際協力部	部長、次長	事前調査
2012. 11. 15	MARD 水資源研究院 (VAWR)	副院長、その他	事前調査
2012. 11. 29	MARD 水資源研究院 (VAWR)	院長、副院長、その他	
2012. 11. 29	T. T. Hue省 工商局, 知事秘書	副局長、その他	
2012. 12. 12	MOIT 工業安全技術環境庁 (ISEA)	副局長、その他	
2012. 12. 13	MARD 水資源研究院 (VAWR)	副院長、その他	
2012. 12. 13	MONRE 水環境プロジェクトチーム	JICA専門調査員	
2012. 12. 14	MONRE環境影響評価承認庁	副局長	
2012. 12. 19	Hue市水道局	主席顧問	

(2) 関連省庁との面談結果のまとめ

これら政府機関等との面談結果の概要を以下にまとめた。また、面談記録の全部は現地調査資料編に掲載しているほか、なお、これらの面談結果の記録は、出席者に内容確認したものではない。

- ・ベトナム国でのダムによる水環境面での問題認識や今後の対策の必要性、さらに提案製品・技術とそのODA案件化に対する意見などを聞いた。
- ・この結果、各機関ともダムによる流水滞留による水質悪化の仕組みやベトナム国内での潜在的な問題を認識しているが、具体的な障害の情報は十分とはいえなかった。
- ・しかし、他の環境問題に隠れて潜在化している可能性や、今後も水道水源を目的としたダム建設を進める観点から、環境影響の緩和方策として提案製品・技術の導入への関心は高かった。とくに全国に問題が報じられたT. T. Hue省からは、ダム建設に伴う下流での水質悪化の問題に、市民および行政側も高い関心を寄せていることや問題の改善を望んでいることを確認した。
- ・一方で、ダム事業推進の立場となる中央政府の機関からは、事業推進に影響を与えることから容易には問題の存在を認めようとなしな姿勢をうかがい取れた。また、家庭排水や工場排水の未処理放流による様々な水環境問題に対して、ダム貯水池での水環境問題という相対的な意識の低さも垣間見られた。しかし、ダム建設への環境対策も不十分であるとの

第1章 対象国における当該開発課題の現状及びニーズの確認

認識も明確であった。実際にHue市で水道事業の指導にあたっているJICAチーフアドバイザーからは、上流のダムによる水道原水への悪化に苦慮してきた経験と、水源での問題改善を求める声もあった。

- 各機関の立場から意見は全く一様ではなかったが、なかでもMARD傘下の水資源研究院 (VAWR) は、ダム建設による問題への対策の必要性を強く感じており、日本の技術導入に対し高い関心を示し、とくにODAでのパイロット施設の導入を強く要望している。またこの機関は、JICAによるODA事業の経験も多く、本件のC/Pとなることを希望している。この機関 (VAWR) は、全国の河川を管理するMARD傘下であり、新技術の開発や国際協力機関との協働も担当することからも、ODA事業を進める場合のC/Pとして適切と考えられた。