

インド国

インド国  
高濃度酸素水供給装置によるダム湖の  
水源機能再生案件化調査

業務完了報告書

平成 28 年 5 月  
(2016 年)

独立行政法人  
国際協力機構 (JICA)

松江土建株式会社

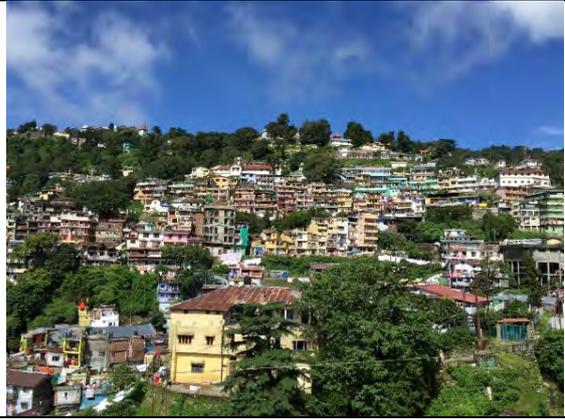
国内
JR(先)
16-032



# 写 真



Nainital 湖(流出口付近から上流を望む)



Nainital 湖東側斜面の密集住宅の状況



Nainital 湖への流入河川の汚濁状況



住民ヒアリングの様子



Bhimtal 湖(流出口付近)



Bhimtal 湖上流域のアオコ発生状況



Bhimtal 湖ダム堤体



Bhimtal 湖隣接取水施設スタッフヒアリングの様子

# 目次

写真  
目次  
略語表  
図表リスト  
要約  
はじめに

<b>第1章 対象国・地域の現状</b> .....	1
1-1 対象国・地域の政治・社会経済状況.....	1
1-1-1 政治状況.....	1
1-1-2 社会経済状況.....	3
1-2 対象国・地域の対象分野における開発課題.....	5
1-2-1 湖沼保全に関する国レベルの開発課題.....	5
1-2-2 湖沼保全に関する地域レベルの開発課題.....	9
1-3 対象国・地域の対象分野における開発計画、関連計画、政策及び法制度.....	44
1-3-1 第12次五カ年計画(2012～2016年).....	44
1-3-2 国家湖沼保全計画(National Lake Conservation Plan).....	44
1-4 対象国・地域の対象分野におけるODA事業の先行事例及び他ドナー事業の分析.....	45
1-4-1 対インド国別援助計画.....	45
1-4-2 JICAの対インド支援方針.....	45
1-4-3 他ドナーの湖沼保全分野における援助動向.....	47
1-5 対象国・地域のビジネス環境の分析.....	47
1-5-1 投資環境.....	47
<b>第2章 提案企業の製品・技術の活用可能性及び海外事業展開の方針</b> .....	53
2-1 提案企業及び活用が見込まれる製品・技術の特徴.....	53
2-1-1 業界分析.....	53
2-1-2 提案製品・技術の概要.....	54
2-1-3 国内外の同業他社、類似製品及び技術の概況及び比較優位性.....	57
2-2 提案企業の事業展開における海外進出の位置づけ.....	59
2-2-1 国内市場の現状.....	59
2-2-2 これまでの海外進出の経緯.....	59
2-3 提案企業の海外進出による我が国地域経済への貢献.....	60
<b>第3章 活用が見込まれる製品・技術に関する調査及び活用可能性の検討結果</b> .....	61
3-1 製品・技術の検証活動(紹介、試用など).....	61

3-2	製品・技術の現地適合性検証.....	61
3-3	製品・技術のニーズの確認.....	62
3-3-1	水質改善の効果.....	62
3-3-2	費用面のニーズ.....	62
3-4	製品・技術と開発課題との整合性及び有効性.....	63
<b>第4章</b>	<b>ODA 案件化の具体的提案.....</b>	<b>64</b>
4-1	ODA 案件概要.....	64
4-1-1	想定する ODA 案件のスキーム.....	64
4-1-2	対象湖の選定.....	64
4-1-3	カウンターパート機関.....	66
4-1-4	具体的な協力計画及び開発効果.....	66
4-2	対象地域及びその周辺状況.....	69
4-2-1	設置箇所.....	69
4-2-2	設備配置.....	70
4-2-3	配電施設・障害物.....	72
4-3	他 ODA 案件との連携可能性.....	72
4-4	ODA 案件形成における課題と対応策.....	72
4-5	環境社会配慮にかかる対応.....	73
4-6	ジェンダー配慮.....	73
<b>第5章</b>	<b>ビジネス展開の具体的計画.....</b>	<b>74</b>
5-1	市場分析結果.....	74
5-2	想定する事業計画及び開発効果.....	77
5-2-1	WEP システムの現地販売ビジネスの実施体制.....	77 非公開部分につき非表示
5-3	事業展開におけるリスクと対応策.....	77

## 添付資料

酸素供給装置の類似製品・藻類対策関連製品.....	非公開部分につき非表示
英文要約	
面談記録.....	非公開部分につき非表示

## 略語表

ADB	Asian Development Bank (アジア開発銀行)
ADS	Air Diffusion System (気泡拡散装置)
BCD	Basic Custom Duty (基本関税)
BOD	Biochemical Oxygen Demand (生物的酸素要求量)
BRICs	Brazil, Russia, India and China
C.I.F	Cost, Insurance and Freight (運賃・保険料込み条件)
C/P	Counterpart (カウンターパート)
COD	Chemical Oxygen Demand (化学的酸素要求量)
COD	Chemical Oxygen Demand (化学的酸素要求量)
CPHEEO	Central Public Health and Environmental Engineering Organization
CST	Central Sales Tax (中央売上税)
CVD	Countervailing Duty (相殺関税)
DIN	Dissolved Inorganic Nitrogen (溶存無機態窒素)
DO	Dissolved Oxygen (溶存酸素量)
EC	Electric Conductivity (電気伝導度)
FDI	Foreign Direct Investment (外国直接投資)
FIPB	Foreign Investment Promotion Board (外国投資促進委員会)
GDP	Gross Domestic Product (国内総生産)
HSN	Harmonized System of Nomenclature (関税協力理事会品目表による国際統一商品分類システム)
INJACK	Indo Japan Chamber of Commerce Kerala (日印商工会議所ケララ)
INR	India Rupee (インドルピー、本報告書中の換算レート: 1INR = 1.661 円)
JETRO	Japan External Trade Organization (日本貿易振興機構)
JICA	Japan International Cooperation Agency (国際協力機構)
LCA	Lake Conservation Authority
LDA	Lake Development Authority
LLP	Limited Liability Partnership (事業目的の組合契約を基に形成される企業組織体)
MLD	Million Litter Per Day (100 万リットル/日)
MPN	Most Probable Number (最確数)
$\mu$ S/cm	Micro-Seimence per Centimeter (マイクロジーメンス毎センチメートル、電気伝導率の単位)
NLCP	National Lake Conservation Plan (国家湖沼保全計画)
NLRSADA	Nainital Lake Region Special Area Development Authority (ナインताल湖特別地域開発局)
NPCA	National Plan for Conservation of Aquatic Eco-systems' (国家水生生態系保全計画)
NPCB	National Pollution Control Board (中央汚染管理局)
NPCB	National Pollution Control Board (中央汚染管理局)
NPO	Not-for-Profit Organization (非営利団体)
NRCD	National River Conservation Directorate (森林環境気候変動省国家河川保全局)
NWCP	National Wetlands Conservation Programme (国家湿地保全プログラム)
O&M	Operation & Maintenance (運転・維持管理)
ODA	Official Development Assistance (政府開発援助)
SS	Suspended Solids (浮遊物質)
TERI	The Energy and Resources Institute (エネルギー資源研究所)
VAT	Value Added Tax (付加価値税)

## 図表リスト

図 1-1	インドの行政区分	2
図 1-2	主要湖沼の NPCB2012 年水質モニタリング結果	8
図 1-3	インド全土の農地の水源別灌漑面積の推移	9
図 1-4	調査対象両湖の位置図	10
図 1-5	2011 年のウッタラーカンド州行政区分(県単位)	11
図 1-6	2011 年のウッタラーカンド州ナイニताल県の行政区分	11
図 1-7	Nainital 湖地域の年間平均降雨量	12
図 1-8	ウッタラーカンド州の人口経年変化	12
図 1-9	Nainital District および Bhimtal Nagar Panchayat の人口経年変化	12
図 1-10	Nainital 湖周辺衛星写真	13
図 1-11	Nainital 湖東側斜面の居住エリアの状況	13
図 1-12	湖への流入水路	14
図 1-13	東側斜面住居エリアの雨水排水路とごみ止めネットおよび排水状況	14
図 1-14	東側斜面住居エリアの越溢しているマンホール及び路上洗濯の状況	15
図 1-15	上流域の下水処理場から湖までの水路の白濁水	15
図 1-16	Rusi Gaon の沢水および建設中の下水処理場	15
図 1-17	Nainital 観光入込客総数の推移	17
図 1-18	Nainital 湖のボートレジャー	17
図 1-19	Nainital 湖の湖内形状	18
図 1-20	Nainital 湖の深度別水温(雨期)	19
図 1-21	Nainital 湖の深度別水温(乾期)	19
図 1-22	Nainital 湖の深度別溶存酸素量(雨期)	20
図 1-23	Nainital 湖の深度別溶存酸素量(乾期)	20
図 1-24	Nainital 湖の深度別電気伝導度(雨期)	21
図 1-25	Nainital 湖の深度別電気伝導度(乾期)	21
図 1-26	Bhimtal 湖周辺衛星写真	22
図 1-27	Bhimtal 湖のダム堤体	22
図 1-28	Bhimtal 湖上流域の開発状況	22
図 1-29	Bhimtal 湖東側の下水集水槽およびポンプ施設	23
図 1-30	Bhimtal 湖上流の流入河川水および湖への流入部の状況	23
図 1-31	Bhimtal 湖畔の取水・浄水施設	23
図 1-32	Bhimtal 湖の観光状況	24
図 1-33	Bhimtal 湖の湖内形状	25

図 1-34	Bhimtal 湖の深度別水温(雨期)-----	25
図 1-35	Bhimtal 湖の深度別水温(乾期)-----	25
図 1-36	Bhimtal 湖の深度別溶存酸素量(雨期)-----	26
図 1-37	Bhimtal 湖の深度別溶存酸素量(乾期)-----	26
図 1-38	Bhimtal 湖の深度別電気伝導度(乾期)-----	27
図 1-39	Bhimtal 湖の深度別電気伝導度(乾期)-----	27
図 1-40	Nainital 湖のサンプル水採水箇所-----	28
図 1-41	Bhimtal 湖のサンプル水採水箇所-----	28
図 1-42	両湖の雨期・乾期の全窒素(T-N)-----	30
図 1-43	両湖の乾期の無機態窒素(DIN)-----	30
図 1-44	両湖の雨期・乾期のアンモニア態窒素(NH <sub>4</sub> -N)-----	31
図 1-45	両湖の雨期・乾期の硝酸態窒素(NO <sub>3</sub> -N)-----	31
図 1-46	両湖の雨期・乾期の亜硝酸態窒素(NO <sub>2</sub> -N)-----	31
図 1-47	両湖の雨期・乾期の全リン(T-P)-----	32
図 1-48	両湖の雨期・乾期のリン酸態リン(PO <sub>4</sub> -P)-----	32
図 1-49	両湖の雨期・乾期の化学的酸素要求量(COD)-----	33
図 1-50	両湖の雨期・乾期の生物的酸素要求量(BOD)-----	33
図 1-51	Nainital 湖の全鉄(T-Fe)および溶解性鉄(D-Fe)-----	34
図 1-52	Bhimtal 湖の全鉄(T-Fe)および溶解性鉄(D-Fe)-----	34
図 1-53	Nainital 湖の全マンガン(T-Mn)および溶解性マンガン(D-Mn)-----	35
図 1-54	Bhimtal 湖の全マンガン(T-Mn)および溶解性マンガン(D-Mn)-----	35
図 1-55	バブリング試験の様子-----	35
図 1-56	バブリング試験による BOD・COD 濃度の変化-----	36
図 1-57	バブリング試験による栄養塩濃度の変化-----	36
図 1-58	バブリング試験による全鉄(T-Fe)および溶解性鉄(D-Fe)の変化-----	37
図 1-59	バブリング試験による全マンガン(T-Mn)および溶解性マンガン(D-Mn)の変化-----	37
図 1-60	酸素供給による栄養塩と BOD の変化イメージ図-----	38
図 1-61	Bhimtal 湖の表層水及び底層水の容量割合イメージ-----	39
図 1-62	Nainital 湖の BOD 収支-----	40
図 1-63	Bhimtal 湖の BOD 収支-----	40
図 1-64	Nainital 湖の T-N 収支-----	41
図 1-65	Bhimtal 湖の T-N 収支-----	41
図 1-66	Nainital 湖の T-P 収支-----	42
図 1-67	Bhimtal 湖の T-P 収支-----	42

図 2-1	水温躍層が形成される湖沼の環境概念図	53
図 2-2	WEP システム構成イメージ図	55
図 2-3	WEP システム(120m <sup>3</sup> /h)仕様	56
図 3-1	気液溶解装置模型	61
図 4-1	Uttarakhand 州政府組織略図	66
図 4-2	WEP システム設置イメージ	68
図 4-3	WEP システム配置箇所	69
図 4-4	Bhimtal 湖横断面図	70
図 4-5	WEP システム陸上施設配置箇所図	70
図 4-6	WEP システム陸上施設配置平面図	71
図 4-7	WEP システム陸上施設配置西側面図	71
図 4-8	WEP システム陸上施設配置北側面図	72
図 4-9	WEP システム陸上施設配置北側面図	72

# 要約

## 1. 対象国・地域の現状

インドにとって湖沼は、飲料や灌漑などの水源としての機能面だけでなく、文化的、歴史的な価値も有する重要な存在であるが、インドの湖沼の多くは近年特に水質の浄化という課題に直面している。人口増加に伴う都市活動の活発化と下水道整備の遅れによって、大都市のみならず地方都市周辺の湖沼でも、リンや窒素を原因とする富栄養化や鉄・鉛・マンガン等の金属汚染などの水質悪化が進行している。インド政府は、環境悪化を経済発展の阻害要因の一つと捉え、河川浄化対策として約 1,019 億円（第 10 次五カ年計画（2002 - 2007 年）～第 12 次五カ年計画（2012 - 2017 年））、湖沼保全対策として全国 62 の湖沼を対象に約 172 億円（第 12 次五カ年計画）を予算化して注力してきた。湖沼保全対策事業の内容は、下水道整備などの流入対策が主であるが、曝気やバイオマニピュレーションと呼ばれる食物連鎖上位の魚類放流による植物プランクトンの捕食を通じた生態系操作の水質対策といった、湖内対策も実施されている。このことから、インドにおいても流入対策と平行した湖内の水質浄化対策の重要性に関する一定の認識があると考えられる。

しかし、流入河川対策や流域対策は、水質改善効果が現れるのに長期間を要することもあり、これらの事業実施の効果は未だ期待されたほどには現れていない。湖沼保全対象 62 湖のうち環境森林省中央汚染管理局が水質モニタリングを毎年実施している 13 湖について、2012 年のモニタリング結果では、溶存酸素量に関しては、インドの湖沼水質基準でろ過等の浄水処理を施さず消毒殺菌処理のみで利用できる最良な水質レベルの分類 A とろ過等の浄水および消毒殺菌を処す場合に利用できる水質レベルの分類 C との中間にあたる、水質分類 B に該当する溶存酸素量を記録した湖沼が 7 湖、富栄養化の可能性を示す BOD 濃度を記録した湖沼が 9 湖と、いずれも過半数の湖沼の水質が悪いという結果であった。2007 年に選定された湖沼保全対象 62 湖の選定基準の一つが B 分類未達だったことから、水質は急激には改善されていないといえる。

ヒマラヤ山脈と国境を接するインドは水資源には比較的恵まれており、落差 10m 以上かつ貯水量 100 万 m<sup>3</sup> 以上のダムはインド全国に 4,818 存在する。しかし、水資源省による水需要予測によると、2050 年には飲料水が 2 倍、灌漑で 1.5 倍に増加し、需要量が年間利用可能水資源量を上回ると見込まれている。近年の水質悪化によって、本来の飲料用水源として機能しなくなった湖も多く、水質の浄化による湖沼本来の機能回復は、インドの水資源分野にとって喫緊の課題となっている。

調査対象とした Nainital 湖および Bhimtal 湖も、かつては飲料用水源として機能していた湖であるが、近年の水質悪化によってその機能を発揮できていない。両湖は共に水深 25m 以上と深いため、気温の高い雨期には表層と低層との間で急激な水温変化が生じ、低層が極度の貧酸素状態となっている。また、周辺河川から窒素やリンなどの栄養塩が多量に流入しているため、貧酸素状態の低層からは金属イオンも溶出し、水質の悪化が進行している。

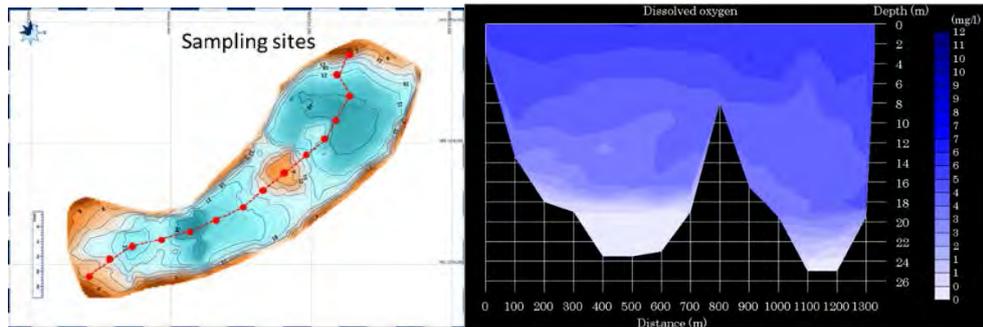


図 1. Nainital 湖の形状および雨期の溶存酸素量の状況

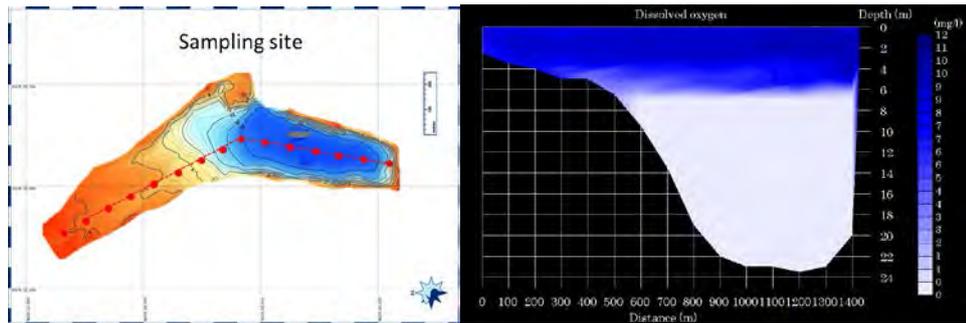


図 2. Bhimtal 湖の形状および雨期の溶存酸素量の状況

ウッタラーカンド州政府は、水質浄化対策として Nainital 湖に 2007 年から Air Diffusion System (ADS) という円盤状ディスクの曝気装置を湖底に設置しており、並びに極小さな気泡の放出による湖内の溶存酸素量の増加、および底層水と表層水の循環作用による水質改善を図っている。しかし、雨期には全窒素濃度が日本の下水処理場への流入汚水と同程度となっているなど、極度に富栄養化した状態であった。また、ADS の導入されていない Bhimtal 湖では、低層の貧酸素が原因で底泥から溶出したと考えられる溶解性鉄の濃度が高いことが判明した。

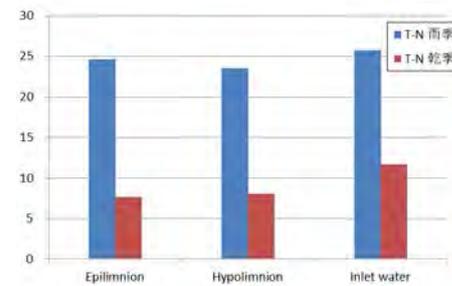


図 3. Nainital 湖の全窒素濃度

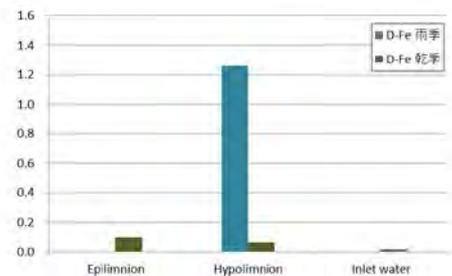


図 4. Bhimtal 湖の溶解性鉄濃度

湖沼の水質浄化対策には、下水道施設整備などのような流入河川や流域を対象にした面的対策もあるが、これらは水質改善効果が現れるまで長期間を要する。このため、特に湖底部の水質を直接的かつ早期に改善する一手段として、高濃度酸素水の供給技術への期待が大きい。

## 2. ODA 事業での活用が見込まれる製品・技術に関する調査及び活用可能性の検討結果

提案企業が有する高濃度酸素水供給装置（WEP システム：Water Environmental Preservation System）は、陸上の酸素発生装置から水中の気液溶解装置へ酸素ガスを供給し、水中で高濃度酸素水を吐出するシステムである。高濃度酸素水の低層への供給によって、湖底からの栄養塩や金属イオンの溶出が抑制され、有機物分解も促進されることで早期の水質改善が可能となる。

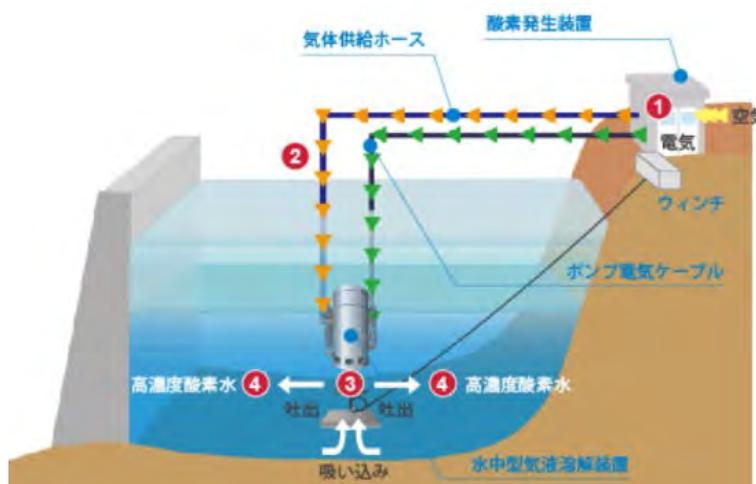


図 5. WEP システム構成イメージ

WEP システムの特長は以下である。

- 1)酸素溶解水が高濃度：吐出水の酸素濃度は 40～60mg/L(類似製品と比べ 5～8 倍)。
- 2)効果が広範囲：無気泡のため、半径 500m 以上に効果が及ぶ。また、気液溶解装置は上下移動が可能。
- 3)運転管理が容易：陸上設置の酸素発生装置からの運転管理が容易で、DO (溶存酸素量) や水温に応じた自動制御も可能。

WEP システムはこのような技術面での比較優位性に加え、ADS に対するコスト面での比較優位性も持つ。

表 1. WEP システムと ADS とのコスト比較

製品	初期費 (調達・設置)	年間電気代	電気代以外の 年間維持管理費
WEP システム	約 8,500 万円 (関税・輸送費込み)	約 52 万円 (120m <sup>3</sup> /h 規模を雨期 5 ヶ 月間運用する場合)	約 150 万円
ADS (Nainital 湖)	45,000,000INR (約 7,475 万円)	1,800,000～2,000,000INR (約 299～332 万円)	210,000INR (約 350 万円)

インド国内では、小規模メーカーによるエアレーション装置の導入は多いものの、WEP システムや ADS のような効果を持つ類似製品の導入事例は確認されていない。インドの湖沼の水質基準は DO および BOD (生物的酸素要求量) が主であり、特に高濃度 DO 水を広範囲に供給できる WEP システムへのニーズは大きいと考えられる。

ただし、WEP システムは、DO とともに水質基準値となっている BOD に対しては大

きな改善作用を及ぼさない点には留意が必要である。検討結果では、WEP システムを Bhimtal 湖に 1 台導入した場合に、BOD 値が基準値以下となるには 10 年以上を要するという試算となった。BOD は主に生活雑排水の流入が主要因であるため、BOD 濃度の減少のためには、WEP システムや ADS のような湖内対策だけでなく下水道整備のような流域対策も同時に実施していくこと求められる。WEP システムのインドへの導入に際しては、この点に関するインド側の理解促進が重要である。

### 3. ODA 案件にかかる具体的提案

湖内水質環境は、湖沼形状や水質、天候の特性によって様々であり、そのため、WEP システムの導入に向けては、国内設置事例と同様に、通年での水質変化確認のための実証期間が必要である。一方で、インドでは新規技術の導入に際しては一般に、技術仕様資料と共に実績やランニングコストを含む実証データの提示が求められ、これらの資料に基づいて所管機関の技術検討委員会の承認を受けて初めて導入が認められる。また、上記のとおり湖内への高濃度酸素水供給はあらゆる水質の改善効果をもたらす技術ではないことの理解浸透も求められる。

従って、1 年以上のデータ収集活動による効果とコストの測定が可能な、中小企業海外展開支援事業「普及・実証事業」を、想定する ODA 案件に設定する。

普及・実証事業の対象は、以下の理由から Bhimtal 湖を選定することが望ましい。

- ・ 雨期に明確な水温躍層が生じており、栄養塩や鉄などの金属イオンの溶出も比較的多い
- ・ 河川流入が一箇所に限られるため、効果測定を行い易い
- ・ Nainital 湖には ADS が導入されており、仮に Nainital 湖に設置すれば 2 つの低層への酸素供給装置の効果の相互干渉が生じるというデメリットがある
- ・ NLRSDA が管轄する Nainital 湖および Bhimtal 湖での ADS および WEP システムそれぞれの運用によって、WEP システムの水質改善効果と運用コストの比較優位性が提示できる可能性が高い

普及・実証事業による効果は、以下を想定する。

- ・ 底層 DO 値のインド水質基準値までの改善
- ・ 栄養塩や金属イオンの溶出抑制
- ・ BOD 値の漸進的な改善

### 4. ビジネス展開の具体的計画

WEP システムのインド導入に向けたビジネス形態は、Bhimtal 湖以外のウッタラーカンド州内の湖への導入をきっかけにしたインド全国の公共管理の湖への展開、並びに民間市場への気液溶解装置の応用製品の展開、という二通りの販売ビジネスを想定する。

公共市場への参入に際しては、普及・実証事業の結果を用いて、現地ビジネスパートナーを通じた販売促進を行う一方で、水中ポンプやコンプレッサーなどの WEP システムを構成する一部製品、半製品については可能な限り現地調達によって販売価格の縮減を図る。

## 案件化調査

### インド 高濃度酸素水供給装置によるダム湖の水源機能再生案件化調査

#### 企業・サイト概要

- 提案企業：松江土建株式会社
- 提案企業所在地：島根県松江市
- サイト・C/P機関：Uttarakhand州Nainital県のNainital湖およびBhimtal湖・  
Nainital Lake Region Special Area Development Authority



#### インドの開発課題

- インドの湖沼の多くは、都市活動の活発化、下水道施設整備の遅れにより、富栄養化や金属汚染など、著しい水質悪化の問題を抱えている。
- 水質悪化のために近年は飲料用や灌漑用水源として利用されなくなった湖沼も多く、水源確保が求められる。

#### 中小企業の技術・製品

- 従来型の曝気(エアレーション)システムとは異なり、気液溶解装置によって湖中の成層構造を乱さずに高濃度酸素水を供給するシステム
- 類似製品と比べて吐出水の酸素濃度が高く、無気泡のため効用が広範囲に効率よく拡散される。

#### 調査を通じて提案されているODA事業及び期待される効果

- 普及・実証事業によって、対象湖にWEPシステムが1台、1年以上の実証期間を経て設置される。これによって期待される効果は以下のとおり。
- ✓ 対象湖の水質改善(対象湖の底層溶存酸素量の改善、栄養塩および金属イオン濃度の基準値以下までの低減)
  - ✓ 対象湖の水源利用量の増加等

#### 日本の中小企業のビジネス展開

- WEPシステムの技術的な効果が見込まれる湖沼の存在と、製品価格や現地供給体制といった環境が整う見込みが得られれば、公共財へのWEPシステム導入と、民間市場への気液溶解装置の応用製品の展開、という2種類の製品の販売ビジネスを展開する。
- 上記に向け、現地での流通販売を担う商社・代理店などのビジネスパートナーとの関係構築を図る。

# はじめに

## 1. 調査名

インド国高濃度酸素水供給装置によるダム湖の水源機能再生案件化調査

Feasibility Survey for Revitalization of Dam Lake Functions by a Hypolimnetic Oxygenator in India

## 2. 調査の背景

インド国の湖沼の多くは、経済活動の活発化と下水道整備の遅れにより水質悪化の問題を抱えており、リンや窒素等による富栄養化や、鉄や鉛、マンガン等の金属汚染等が起きている。湖沼の水質モニタリングを担う環境森林気候変動省下部組織の中央汚染管理局による 2013 年の報告の中では、209 の湖沼が挙げられている中、DO（溶存酸素量：富栄養化の指標）値が「野外入浴可能レベル（分類 B）」を下回っている（富栄養化が懸念される）湖が約 9 割を占めるとされている。

本調査対象地であるウッタラーカンド州ナイニताल市の Nainital 湖、及び近郊のビムタル村の Bhimtal 湖においても、上記状況と同様、基準値の約 100 倍のリン濃度や、鉄・マンガンによる金属汚染が確認されている等、水質悪化が顕著である。以前には地域住民は湖の水を生活用水等に使用してきたが、水因性疾患や、農作物汚染等の被害が発生してきたため飲料用水源として利用しなくなった。

上記のような開発課題に対して、提案製品である WEP システムの導入により、課題の解決を目指すべく調査を行った。

## 3. 調査の目的

調査対象両湖は、天然湖であると同時に、飲料用水や農地の灌漑水（農地用水）などの貯水機能を果たせるよう、護岸工事や貯水管理を管理当局が行ってきており、最大水深 10m 以上、湛水（満水時の接岸水面）面積 40ha 以上の比較的大きな湖である。これらことから、WEP システムの効果が十分に発揮できる大きさであることを理由に、調査地として選定されている。なお、本件における浄水レベルは、上記に挙げる「野外入浴可能レベル（分類 B）」を目指す。

本調査終了後は、普及・実証事業を想定しており、効果の発現や他州の関係機関への実例 PR 等に取り組む。なお、本調査結果を通じて、低廉モデルでの対応が可能であると判明した場合には、普及・実証事業における低廉モデルの投入も検討する。

ビジネス展開戦略に関しては、イ国には約 5,000 ものダム湖が存在し、WEP システムの活用が見込まれる湖も複数存在する為、本調査や ODA 案件化を通して効果、実績、ニーズの確保を図り、他州への横展開を図ることを想定する。ダム湖への導入は公共入札となるため、性能 PR や型式・技術認定を通して入札へと繋げていく。また、管理当局における財政状況に関しては、必要機材を購入する場合には州政府からの財政支出も要する為、予算規模を確認しながら導入を進めていく。

## 4. 調査対象国・地域

調査対象は、イ国北部ウッタラーカンド州 Nainital 県に所在する Nainital 市および Bhimtal 村とする。

5. 団員リスト

氏名	担当業務	所属先
坂本 勝弘	業務主任/総括	松江土建株式会社
川上 裕治	ビジネス検討(1)	松江土建株式会社
堀江 洋一	ビジネス検討(2)	松江土建株式会社
譚 衛華	資機材設置計画	松江土建株式会社
増木 新吾	水質調査/施設設計	松江土建株式会社
戸島 邦哲	湖沼環境調査	松江土建株式会社
水井 一成	チーフアドバイザー/副総括	パシフィックコンサルタンツ株式会社
上原 浩	施設計画	パシフィックコンサルタンツ株式会社
森本 達男	市場調査/ビジネス計画	パシフィックコンサルタンツ株式会社
松田 尚郎	水質改善効果検討	パシフィックコンサルタンツ株式会社

6. 現地調査工程

作業項目	2015年												2016年			
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月			
調査実施計画作成、事前準備																
湖沼環境の問題点と課題、現地側ニーズ確認																
モデル装置によるWEPシステム紹介																
湖沼現況調査（第1回：雨期）																
ビジネス計画検討																
湖沼現況調査（第2回：乾期）																
湖沼現況調査の結果整理																
WEPシステム適用可能性及び開発効果の検討																
普及実証事業の具体提案内容の協議検討																
報告書のとりまとめ																
業務計画書、進捗報告書、業務完了報告書提出時期 (△と報告書名を記載)																

△ 業務計画書      △ 進捗報告書      △ 業務完了報告書

凡例 ■ 現地業務    □ 国内作業    ▨ 活動

# 第1章 対象国・地域の現状

## 1-1 対象国・地域の政治・社会経済状況

### 1-1-1 政治状況

#### (1) 中央政府

インドは連邦共和制国家で、自治権が認められている州、および大統領が任命する行政官を通じて統治される連邦直轄領で構成される。2014年6月にアーンドラ・プラデーシュ州の北部がテランガーナー州として分離創設され、2015年時点で29の州と7の連邦直轄領が存在している。独立以来ほぼ一貫して民主主義を維持しており、大統領を元首とする議院内閣制で、選挙によって政権選択される。大統領は議会の上下両院と州議会議員で構成される選挙会で選出され、名目上は連邦行政組織の長であるが、政治的な実権は持たない。実質的な行政権は、大統領に任命される首相をトップとする閣僚会議に属し、国政事項の閣僚会議決定内容は首相を通じて大統領に伝えられ、大統領が閣僚会議の助言等に従って州知事任命や法案承認などを行う仕組みである。

1947年にそれまでのイギリス植民地支配からパキスタンと分離独立してから1960年代後半まではインド国民会議派が圧倒的な勢力で政権を担っていたが、1970年台から議会派と反議会派勢力との対立を経て徐々に政治勢力図が変遷し、1980年に結成されたインド人民党が1998年に政権交代を実現して以降、近年はインド国民会議派とインド人民党を中心とする二極構造で、比較的安定状態を維持している。国民会議派は2004年に政権奪回を果たし、シン政権は二期10年に及んだが、2014年5月の選挙で再びインド人民党が勝利し、親日派として知られるモディ首相が政権を運営している。

行政組織は中央・州・地方自治体の三層構造で、憲法によって中央と州の管轄事項が定められている。中央の専管事項は国防、外交、通信、通貨および関税、州の専管事項は州法制定と治安維持、上水供給、公衆衛生、教育、農林水産業などである。中央と州の共有権限は経済計画、社会保障、貿易、産業などであるが、州政府は農業基盤及びインフラ整備に関する強い権限と財源を有しており、開発分野での州政府の役割は非常に大きいという点に留意が必要である。

湖沼の環境保全についてもこの中央政府と州政府の関係が当てはまり、湖沼の他、河川や湿地も対象とした環境保全と自然資源管理を所管する森林環境気候変動省 (Ministry of Environment, Forest and Climate Change) が関連政策やプログラムの策定、調査、事業予算措置、監督などを担っているが、事業実施には直接的に関与しておらず、対策事業は州政府や都市部自治体の権限のもとで実施される。

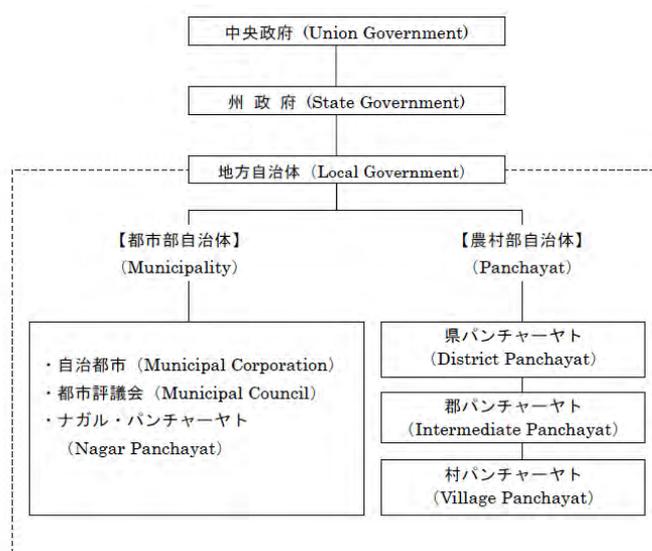
なお、その他の関連省庁には、水資源に関する国全体の規制、政策、開発計画策定、一級河川やダム等からの事業体による取水に対する水使用料徴収を担う水資源省 (Ministry of Water Resources)、上下水道に関する国全体の政策、開発計画、財政支援については、都市部管轄の都市開発省 (Ministry of Urban Development)、農村部管轄の飲料水衛生省 (Ministry of Drinking Water and Sanitation) が挙げられる。また、水質基準や規制は都市開発省の下部組織である CPHEEO (Central Public Health and Environmental Engineering Organization) が策定している。

## (2) 州政府

イギリスの植民地支配の影響を残しながら連邦制を採用しているインドの行政構造は、日本と同様に中央・州・地方自治体の三層構造であるものの、都道府県と市町村を地方自治体と呼ぶ日本と異なり、州政府は独立した存在で地方自治体をその管轄下に置いている。

州レベルでは、大統領に任命された州知事が州首相を任命するが、実質的には直接選挙で選ばれる州首席大臣によって統治される。なお、連邦直轄領は中央政府の支配下で、大統領が任命する行政官によって統治される。州の下位の行政単位は、州と地方自治体の間の中間的な行政機構である県(District)であり、県の下位の行政単位は都市部自治体及びパンチャーヤト(Panchayat)と呼ばれる農村部自治体である。パンチャーヤトとは、イギリス植民地以前からインドに存在した伝統的な村落共同体の自治形態で、ヒンドゥー語で5人という意味の Panch と集会の意味の Yat から成る、南アジアで伝統的に存在してきた統治組織である。

この地方自治体レベルでの行政区分類はやや複雑で、大きく都市部自治体と農村部自治体に二分される自治体は、規模に応じてさらにそれぞれ3つのカテゴリーに区分される。



出所)自治体国際化協会(2007)「インドの地方自治」

図 1-1 インドの行政区分

インド憲法において、都市部自治体は、人口100万人以上の大都市など中枢性や独立性が高く州政府の都市行政部門が管轄する大都市部のナガル・ニガム(Nagar Nigam、英語では Municipal Corporation)、比較的中規模で行政体としての独立性も高くないナガル・パリカ(Nagar Palika、英語では Municipality)、人口3万人以上10万人以下程度の小規模のナガル・パンチャーヤト(Nagar Panchayat、英語では City Council)という三つのカテゴリーが規定されている。

農村部自治体は、州政府の農村開発部門が管轄し、行政規模の大きい順から、県パンチャーヤト(Zilla Panchayats / Parishad)、郡パンチャーヤト(Block / Intermediate / Taluk Panchayats)、村落パンチャーヤト(Village / Gram Panchayats)に分類されてい

る。最小行政単位の村落パンチャーヤトは、多くの場合 500 人以上の人口になるように構成される。なお、県の開発計画は、県計画委員会（District Planning Committee）において県内の都市部自治体及びパンチャーヤトが立案する各自治体の開発計画を調整・統合して定められ、この各県の開発計画が州政府で統合されて州の開発計画となる。

表 1-1 インド憲法に規定されている州政府・地方自治体の担当事務

州政府	都市部自治体	農村部自治体
地方自治体の管理	市街地計画を含む都市計画	農業普及事業を含む農業
公衆保健と衛生	土地利用及び建築物建設に関する規制	土地改良、区画整理及び土地改革の実施、及び土壌保全
障害者・失業者の救済	経済的及び社会的開発に関する計画	小規模灌漑、水管理及び流域開発
交通整備	道路及び橋梁	畜産業、酪農業及び養鶏業
農業振興	家庭用、産業用及び商業用水の供給	漁業
家畜の保護、改良及び動物病の予防	公衆保健及び衛生管理、廃棄物管理	社会林業及び農園林業
飲用水の確保	消防	小規模森林生産物
土地保全	都市部緑化、環境保護及びエコロジーの推進	食品加工業を含む小規模工業
漁業	身体障害者及び精神障害者を含む社会における弱者層の利益保護	繊維業、農村及び家内制手工業
鉱山・鉱物開発の規制	スラムの改良及び改善	農村住宅建設
工業の保護	都市部における貧困対策	飲料水
ガス、ガス向上の管理	都市部における施設、すなわち公園、庭園、遊園地等の供与	燃料及び飼料
州内における財の生産、供給と分配	文化的、教育的及び美的側面の推進	道路、排水路、橋梁、渡船、水路及びその他の交通
協同組合	埋葬及び埋葬地、火葬及び火葬場並びに電気式火葬	電力供給を含む農村における電化
州立工場の土地と建物の管理	家畜小屋、動物に対する残虐行為の禁止	非常用エネルギー資源
	出生及び死亡の登録を含む人口動態統計	貧困対策事業
	街灯、駐車場、バス停留所を含む公共の便益	初等及び中東教育の実施
	解体処理上及び皮なめし工場の規制	技術訓練及び職業訓練
		成人及びノンフォーマル教育
		図書館
		文化事業
		市場の管理
		病院、一次医療センター及び診療所を含む保健及び衛生
		家族福祉
		女性及び児童福祉
		身体障害者及び精神障害者に対する福祉を含む社会福祉
		弱者層の福祉、特に指定カースト及び指定部族の福祉
		配給制度
		コミュニティ施設の維持

図中色分類 水色: 上水道・水資源関連、黄色: 都市開発関連、緑色: 環境関連  
 出典: 自治体国際化協会(2007)「インドの地方自治」を基に JICA 調査団作成

### 1-1-2 社会経済状況

インドの経済は、1990 年代から比較的安定して成長してきている。かつては産業発展の遅れた農業大国であったが、1991 年の外貨危機を契機とする経済自由化路線への転換以降、規制緩和や外資の積極活用を柱とした経済改革政策が実施され、2000 年代中盤には 9%前後の GDP 成長率を記録するなど、BRICs 諸国の中でも中国に次ぐ水準の経済成長を達成してきた。近年は成長が鈍化しているとはいえ、2015 年の経済成長率（推定値）<sup>1</sup>は 7.3%と、依然として比較的高い成長率を維持しているといえる。

経済成長に伴い、都市部で高所得者層が出現し中所得者人口が増加している一方、農村部や都市スラム部の貧困層との格差拡大は大きな社会問題となっている。2014 年の一人当たり実質 GDP は 182 か国中 140 位の 1,581.5USD<sup>2</sup>で、人口比率で約 6 割を占める農業従事者の GDP 寄与率は 15%前後にとどまっている（参考：農林水産省ホームページ「インドの農林水産業概況」）。また、特に地方部のインフラ整備が経済成長のスピードに追いついておらず、電気や水、交通インフラの未整備は産業発展の足かせとなっている。都市部においても、人口流入で肥大する生活インフラ需要に対して整備が追いついていない状況である。

2004 年からのシン政権では、農村開発や貧困対策とともにインフラ整備による経済開

<sup>1</sup> 「世界経済見通し 改定見通し」(IMF、2016 年 1 月)

<sup>2</sup> 世界銀行ホームページ <http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD>

発に注力してきた。2014年に発足したモディ政権でも、“Make in India”をスローガンに掲げ、製造業を中心とした外国企業による直接投資を積極的に呼び掛けているが、この投資環境整備の一環として、インフラ開発には前政権以上に注力しているといわれている。インフラ整備の遅れは、製造業振興の遅れを招き、ひいては雇用の低調、貧富差の拡大につながると考えられているためである。インドの産業構造をみるとソフトウェア産業が強く、第三次産業であるサービス業のGDP構成割合が5割を超える一方、第二次産業の製造業は約2割にとどまっている。製造業の集積で急速な経済成長を遂げた中国やタイのGDP割合が4割を超えることを踏まえれば、インドの今後の経済成長の鍵は製造業の振興にあり、そのため今後しばらくはインフラ整備注力の傾向は続くと思われる。

我が国とインドは2000年以降、首脳レベルでの会談を幾度となく重ねてきており、2014年9月の「日インド特別戦略的グローバル・パートナーシップのための東京宣言」には、以下の内容の「日印投資促進パートナーシップ」も共同声明として発表されるなど、インフラ基盤整備等の社会経済協力と併せて、巨大な市場可能性を見据えた民間投資環境整備も踏まえた両国の経済面での結びつきが強化されている。

- ・ 今後5年以内に、日本の対印直接投資とインドに進出する日系企業数を倍増するという共同で達成されることとなる目標の設定
- ・ 安倍総理による、次世代インフラ、輸送システム、スマートシティ、ガンジス川及び他の河川の再生、製造業、クリーンエネルギー、水の安全保障、食品加工及び農産業、農村開発などの分野における政府及び民間プロジェクトの資金として、今後5年間でのODAを含む3.5兆円規模の日本からの官民投融資、およびインドインフラ金融公社に対する500億円の円借款供与の意図表明

デリー・ムンバイ間産業大動脈構想の都市鉄道やムンバイ・アーメダバード間高速鉄道などの鉄道インフラをはじめとする大型の交通インフラ等の整備にとどまらず、民間技術の導入や投資の促進にも言及している点で、本邦企業のインドでのビジネス展開にとっても追い風となる内容となっており、日インド特別戦略的グローバル・パートナーシップのもと、2015年12月に発表された日印ビジョン2025ではその目標実現に向けた包括的かつ具体的な中長期行動計画の策定や官民投融資の着実な進展が謳われている。

ただ一方で、インドは1994年以降のルックイースト政策の下で近年、インドネシアや中国、オーストラリアなどとも政治経済面での連携強化を図りつつある点も注意が必要である。例えば2014年9月の日印首脳会談直後に訪印した中国の習国家主席との共同声明には、今後5年間で200億ドル規模の投資を中国側が実施するという目標が盛り込まれた。日本の3.5兆円と比べると、200億ドルは格段に少ないが、これまでの中国による投資額の約40倍にも上る。このように、インド政府は日本のみならず関係国からのODAや民間投資を、バランスよく活用する形でインフラ整備促進を図る姿勢と見られる。

## 1-2 対象国・地域の対象分野における開発課題

### 1-2-1 湖沼保全に関する国レベルの開発課題

#### (1) 水質の改善

##### ア 水質悪化の現状

インドは 2007 年に世界湖沼会議<sup>3</sup>を主催するなど、湖沼保全への関心が比較的高いが、インドの湖沼は水質の浄化という喫緊の課題に直面している。森林環境気候変動省下部組織の中央汚染管理局（NPCB：National Pollution Control Board）が毎年発行している全国の河川や湖沼、貯水池、地下水の水質モニタリング報告書から 2007 年と 2012 年の計測データを比較すると、下表に示す水質基準で B 分類の「野外入浴」水準の基準値を下回っている湖沼及び貯水池の割合は、溶存酸素量（DO：Dissolved Oxygen）に関しては 2007 年の 16.7%から 2012 年の 15.8%とわずかながら改善したものの、富栄養化の可能性を示す生物的酸素要求量（BOD：Biochemical Oxygen Demand）に関しては 2007 年の 43.9%から 2012 年には 55.4%に悪化している。さらに、日本の水質基準で「日常生活で不快を感じるレベル」である DO 値 2.0mg/L 以下の湖沼及び貯水池の数は、2007 年には 1 箇所であったが 2012 年には 9 箇所に増加している。NPCB によるモニタリング報告の対象湖沼・貯水池数は毎年異なっており、2007 年に 66、2012 年は 215 と母数が大きく異なるものの、全体的に悪化傾向といえる。

表 1-2 インドの水質基準分類

分類	用途	大腸菌群 (MPN/100ml)	pH	溶存酸素 量(DO)	BOD (5 日 間・20℃)	浮遊ア モンニア	電気伝導度 (mhos/cm)	ナトリウム 吸収率	ホウ素
A	消毒を施した飲料水 (従来型水処理未実施)	50 以下	6.5～8.5	6mg 以上	2mg/L 以下	-	-	-	-
B	野外入浴	500 以下	6.5～8.5	5mg 以上	3mg/L 以下	-	-	-	-
C	従来型水処理および 消毒を施した飲料水	-	6.0～9.0	4mg 以上	3mg/L 以下	-	-	-	-
D	養殖・野生生物の増殖	-	6.5～8.5	4mg 以上	-	1.2mg 以下	-	-	-
E	灌漑・工業冷却水・ 下水処理排水基準	-	-	-	-	-	2250μ 以下	26 以下	2mg 以下

出典：NPCB ウェブサイト ([http://www.cpcb.nic.in/Water\\_Quality\\_Criteria.php](http://www.cpcb.nic.in/Water_Quality_Criteria.php)) を基に JICA 調査団作成

なお、日本では、湖沼の DO 値は環境省「公共用水域水質測定結果報告要領」において湖沼全層の平均値が採用されることになっており、その算出方法は、各測定時刻における上下層（又は 3 層以上）の平均値を算出し、その日間平均値の年平均をとることと定められている。インドでも「Guidelines for Water Quality Monitoring」（NPCB、2007 年）において、天候や季節に応じた水質変化の影響回避のために望ましい採水頻度

<sup>3</sup> 1984 年に滋賀県の提唱により開かれた「世界湖沼環境会議」を契機に、世界各地から研究者、行政、企業、市民団体が会し、隔年開催されている世界会議。これまで日本、米国、ハンガリー、中国、イタリア、アルゼンチン、デンマーク、ケニア、インドにおいて開催され、今回は 2016 年 11 月にインドネシアのバリ島で開催予定。

を確保することや平均値の採用が推奨されているものの、具体的な採水の深度やサンプル数、頻度については規定されておらず、ダム湖については取水口がある場合はその近辺で、無い場合はダム湖上流部での採水が推奨されているのみである。従って、NPCBのモニタリング報告書に記載されている DO 値は、必ずしも日本と同水準の精度で測定・算出された値ではないと推察される。実際、本調査対象湖の Bhimtal 湖の値は、本調査の実測値と大きく異なっていた。

#### イ 水質改善の取組み

湖沼の水質改善は、これまでの 2015 年を目標年度としたミレニアム開発目標のゴール 7 “環境の持続可能性確保” に対するターゲット 7.A “持続可能な開発の原則を国家政策及びプログラムに反映させ、環境資源の損失を減少させる” に関連する一指標の「再生可能水資源量の割合」に寄与するものであり、インド政府も環境悪化を経済発展の阻害要因の一つと捉え、河川や湖沼の水質改善に注力してきた。河川浄化対策は、第 10 次五カ年計画（2002～2007）から現行の第 12 次五カ年計画（2012～2017）まで継続して提唱され、湿地と湖沼の保全も第 12 次五カ年計画にはプログラム戦略として明記されている。2015 年 9 月の国連持続可能な開発サミットで採択された持続可能な開発目標（SDGs）の目標 6「すべての人々の水と衛生の利用可能性と持続可能な管理を確保する」においても、以下のターゲット文が採択されており、インド政府は今後も引き続き河川や湖沼の水質改善に国家レベルで取り組んでいくものと考えられる。

- ・ 6.4：2030 年までに、全セクターにおいて水利用の効率を大幅に改善し、淡水の持続可能な採取及び供給を確保し水不足に対処するとともに、水不足に悩む人々の数を大幅に減少させる。
- ・ 6.6：2020 年までに、山地、森林、湿地、河川、帯水層、湖沼を含む水に関連する生態系の保護・回復を行う。

実質的な水質改善対策は、2001 年に森林環境省（現森林環境気候変動省）の下部組織である国家河川保全局（NRCD：National River Conservation Directorate）が策定した国家湖沼保全計画（National Lake Conservation Plan）に基づく。第 11 次 5 年計画（2007～2011 年）では、(1)一定規模（湛水面積 10ha 以上かつ最大水深 3m 以上）を有する、(2)生活・産業排水の流入がある、(3)インド国水質基準分類 B「野外入浴」レベルを満たしていない、の 3 点を選定基準として全国 62 の湖沼が事業実施対象としてリストアップされ、湖沼保全対策事業費として約 104.2 億 INR（約 173 億円）が、中央政府 7 割、地方政府 3 割の負担割合で充当された。この事業費は、汚染河川の浄化対策費約 1,019 億円と比べると少ないものの、湖沼 1 箇所あたりの平均では約 3 億円規模と十分な額である。次表に、2009 年時点で事業費予算承認済みの湖沼と事業費規模の一覧を示す。

表 1-3 第 11 次 5 年計画における湖沼対策事業費（2009 年承認済み）

州	湖名	億円	州	湖名	億円
Andhra Pradesh	Banjara	0.46	Rajasthan	Mansagar	4.11
Maharashtra	Powai	1.10		Annasagar	2.54
	Rewale	0.42		Pushkar	8.03
	Jail	-		Fatehsagar	6.95
	Makhamali	-		Pichola	14.08
	Kharegon	-	Karnataka	Vengaihnkere	1.91
	Kusa	-		Nagvara	-
	Upvan	-		Jarganahalli	-
	Kasaradawli	-		Bellandur	0.92
	Naar/Oval	-		Kotekere	0.94
	Khidkali	-		Bhishma	0.42
	Mahalaxmi, Vadagaon	0.31		Lal Bagh	0.28
	Rankala	1.44		Channapatna, Hasan	0.83
	Vrhala Devi	0.76		Sharanbhasveshwara	0.81
Sidheshwar	0.72	Akkamahadevi, Haveri		0.44	
Tamil Nadu	Ooty	0.32		Kundawada, Davangere	0.57
Tamil Nadu	Kodaikanal	1.73		Kote Tavarekere	0.60
	Jammu & Kashmir	Dal		49.62	Tripuranthkeshwar, Bidar
Kerala		Veli Akkulum		4.08	Gowramma
	Madhya Pradesh	Rani Talab, Rewa	0.55	Hambalmba	-
Sagar		3.54	Amanikere	2.22	
Shivpuri		8.64	West Bengal	Rabindra Sarovar	1.16
Chandpatha		-		Mirik	0.67
Uttaranchal	Bhimtal	2.80		Adi Ganga	4.14
	Sattal	-	Dimasagar	0.34	
	Khurpatal	-	Laxminarayanibari	-	
	Nainital	7.97	Durgabadi	-	
Orissa	Bindusagar	0.56	Uttar Pradesh	Mansi Ganga	3.77
合計					84.46

出典：環境森林省国家河川保全局資料を基に JICA 調査団作成

水深 10m 以上の比較的大きな湖の対策事業内容を下記に示す。下水道整備などの流入対策が主であるが、曝気やバイオマニピュレーションと呼ばれる食物連鎖上位の魚類放流による植物プランクトンの捕食を通じた生態系操作の水質対策といった、湖内対策も実施されている。このことから、インドにおいても流入対策と平行した湖内の水質浄化対策の重要性に関する一定の認識があると考えられる。

表 1-4 水深 10m 以上の湖での対策事業内容

州	湖名	最大水深 (m)	事業費 (億円)	対策内容
Maharashtra	Powai	3~12	1.10	バイオレメディエーション、曝気装置導入、底泥の軽減
Maharashtra	Mahalaxmi	10.5	0.31	下水の流入防止、浄化槽の設置、藻類除去、洗濯の規制
Maharashtra	Rankala	15	1.44	下水の流入防止、藻類除去、泥除去、バイオマニピュレーション
Madhya Pradesh	Sagar	18	3.54	下水道整備、下水処理施設、シルトラップ、シルト除去、土壌侵食対策
Madhya Pradesh	Chandpatha	12	-	下水整備、下水処理施設、シルトラップ、土壌侵食対策
Madhya Pradesh	Bhimtal	18	2.80	浚渫、下水処理施設、下水流入防止
Uttaranchal	Nainital	42	7.97	下水流入防止、土壌侵食防止、鯉の導入、曝気装置導入、藻類の繁殖の減少
Rajasthan	Pushkar	8~10	8.03	下水道整備、土壌侵食防止、曝気装置導入、適切な観光設備、雨水管理

出典：「Conservation and Management of Lakes-An Indian Perspective」(森林環境省、2010 年)を基に JICA 調査団作成

しかしながら、これら事業実施の効果は発現されていない。国家湖沼保全計画の対象

62湖のうち13湖が、NPCBによる水質モニタリングの対象湖と重複しているが、2012年のモニタリング結果から水質基準B分類未満と判定される湖は、DOについては7湖、BODについては9湖である。国家湖沼保全計画の対象62湖の選定基準の一つは基準B分類未満であったことから、水質改善は期待されたほど効果が上がっていないと捉えられる。

湖沼名	Banjara	Kodai kanal	Dal	Rani Talab	Sursagar	Pushkar	Fatesagar	Pichola	Rabindra Sarovar	Mirik	Laxmi Narayan Bari	Bindusagar	Rangarh	Naintal
DO(mg/l最小)	0	6.3	3	6.3	2.6	2.1	5.1	4.7	4.0	7	0	5.9	7.9	6
BOD(最大)	80	26	4	2.8	1.5	15	2.3	2.1	14	7.2	120	35	6.2	2.6

分類Aを満たす
分類Bを満たす
分類Cを満たす
分類Cを満たさない

出典:「Status of Water Quality in India」(環境森林省中央汚染管理局, 2012)を基にJICA調査団作成

図 1-2 主要湖沼の NPCB2012 年水質モニタリング結果

## (2) 水資源量の確保

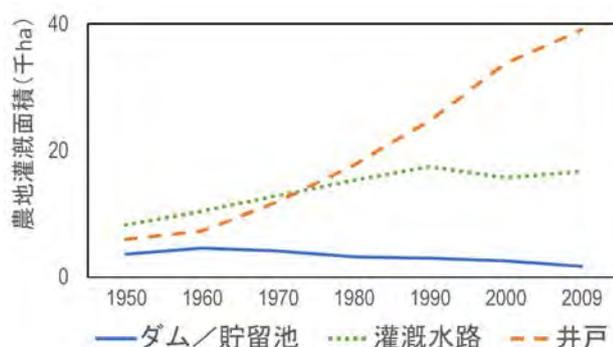
インドには、ヒマラヤ山脈の豊富な水源、地下水を涵養できる沖積平野が広がり、多くの河川や湖沼、井戸、貯水池が存在し、年間総降水量は約 4,000km<sup>3</sup>と日本の約 6 倍である。しかし、降水量は年間約 3 ヶ月程度の雨期に集中し、北部を除き広大な国土が熱帯に属すサバナ気候や乾燥帯に属すステップ気候のため地下浸透量は少ないため、票流水の利用可能水量は約 700km<sup>3</sup>である。人口一人当たり水資源量では、日本の 1/3 である。近年の都市部の人口増加や産業経済活動の活発化に伴い、有効な水資源の不足が懸念されており、水資源省による水需要予測によると、2050年には飲料水が 2 倍、灌漑で 1.5 倍に増加し、需要量が年間利用可能水資源量を上回ると見込まれている。

従って、降雨による表流水を時間的かつ地理的に広い範囲で貯留することで水資源の偏在性を解消し地域の開発に貢献する役割を担うダム湖等の湖沼は、インドにとって重要な存在である。2011年のデータでは、インド全土の水資源賦存量 1,911km<sup>3</sup>/年のうち約 98%が表流水で占められ、地下水はわずか 2%にも満たない。落差 10m 以上かつ貯水量 100 万 m<sup>3</sup>以上のダムは全国に 4,818 存在し、375 箇所のダムが建設中(2012年時点)である。また、湿地帯も 67,400 以上と多く存在し、総面積は 40,600km<sup>2</sup>に及ぶ(Garg 他、1998)。また、国際的に重要な湿地に関する条約のラムサール指定地として 25 の湿地が登録されている。

地下水過剰揚水の問題は、わずか 2%の地下水利用にもかかわらず顕在化している。例えばニューデリー西部の Dwarka 地域では、以前はマイナス 5m 程度だった地下水位が現在ではマイナス 30m~60m に低下しているなど、大きな社会問題となっている。また、2004年に南部のケララ州、2014年には北部のウッタル・プラデーシュ州で、裁判所が大手飲料製造業者に対して地下水の過剰揚水として工場閉鎖命令を出しており、2013年には北部のウッタラーカンド州で住民らの反発により工場建設計画が破綻している。

また、水質悪化を主要因とする水源の有効利用の阻害も課題である。湖沼が水源機能

を發揮できなくなってきた実態は、次図のインド全土の農地の水源別灌漑面積の推移からも明白であり、ダムや貯留池による灌漑面積は絶対量でも減少の一途であり、代替となってきた井戸の利用量との割合は極端に減少してきている。



出典:FAO 資料を基に JICA 調査団作成

図 1-3 インド全土の農地の水源別灌漑面積の推移

本来飲料用水の水源として利用されていたものの水質汚染によって近年灌漑用水や生活用水に用途変更された湖沼は、ボパール湖（マディヤ・プラデーシュ州）、ポワイ湖・ランカーラ湖（共にマハラシュトラ州）、フセインサガール湖（アンドラ・プラデシュ州）など、少なくない。

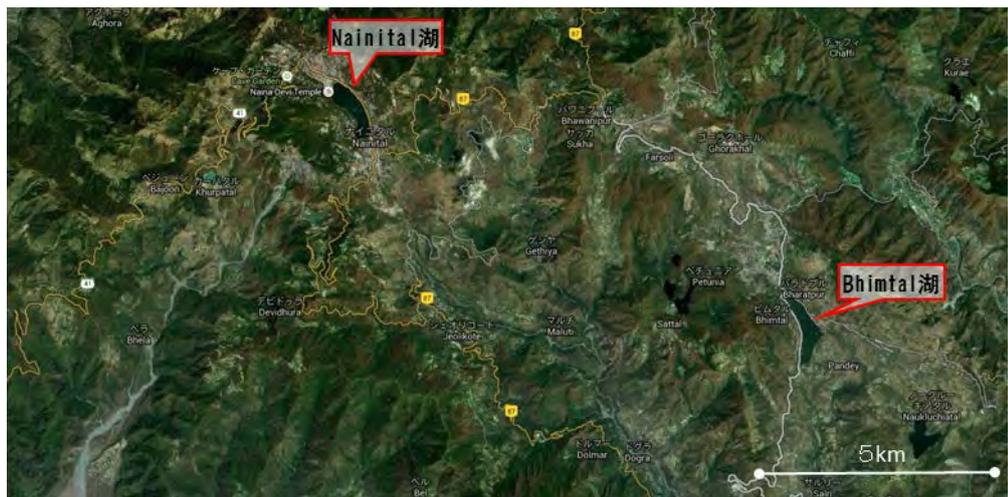
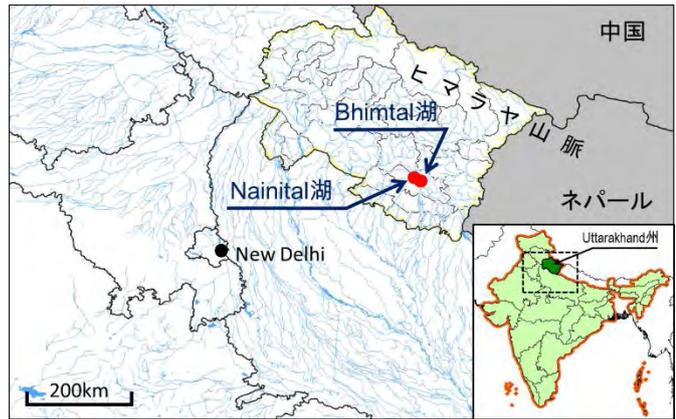
このためインド政府は第 12 次五カ年計画において、流域対策事業費総額に第 11 次五カ年計画の約 2 倍となる 5 兆 437 億 INR（約 8 兆 3,776 億円）を計上した。主な流域対策は河川のみならず湖沼や地下水の汚染対策であることから、限られた水資源の有効活用への関心がより高まっている状況といえる。

## 1-2-2 湖沼保全に関する地域レベルの開発課題

### (1) 調査対象地域の特性

本調査の対象は、北部ウッタラーカンド州ナイニताल県に位置する Nainital 湖および Bhimtal 湖である。ウッタラーカンド州は 2000 年にウッタル・プラデーシュ州から独立する形で創設された 4インドで 27 番目の州で、ヒマラヤ山脈の西側に位置し、人口 10,086,292 人（2011 年人口センサス）を抱えている。州の一人当たり年間所得は、国内平均の 46,492INR を大きく上回る 59,584INR であり、製造業を中心に情報技術、食品加工、バイオテクノロジー、観光、水力発電などの産業が盛んな一方、大きな消費者市場でもあり、国内で最も発展している州の一つである。

<sup>4</sup> 2000 年から 2006 年まではウッタラーンチャル州と呼ばれていた。



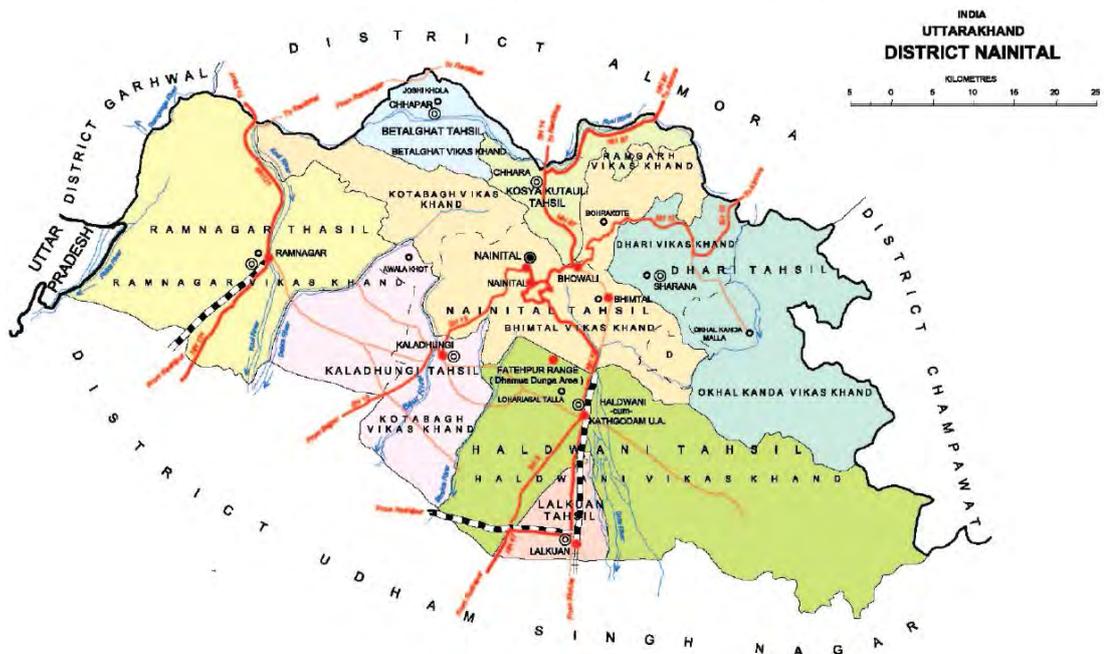
出典: JICA 調査団作成

図 1-4 調査対象両湖の位置図



出典:「Census of India 2011, Administrative Atlas, Uttarakhand」

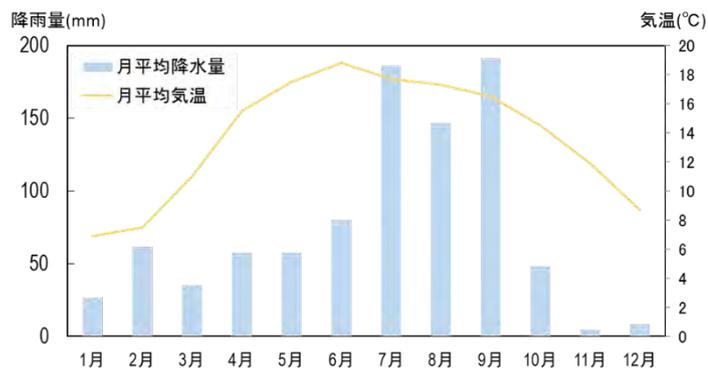
図 1-5 2011年のウッタラーカンド州行政区分（県単位）



出典:「Census of India 2011, Administrative Atlas, Uttarakhand」

図 1-6 2011年のウッタラーカンド州ナイニताल県の行政区分

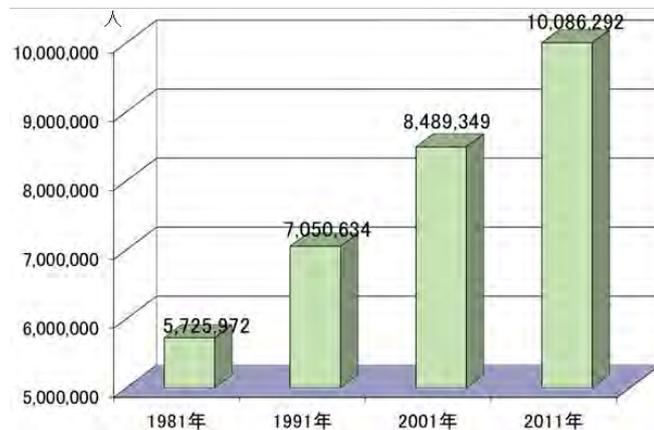
月平均降雨量と気温は下記のとおりで、比較的多雨である。



出典: JICA 調査団作成

図 1-7 Nainital 湖地域の年間平均降雨量

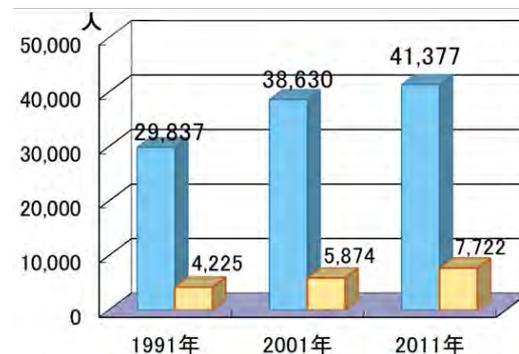
ウッタラーカンド州の人口は近年急激に増加しており、2011年には1,000万人を突破した。



出典: 「Census of India 2011, Administrative Atlas, Uttarakhand」

図 1-8 ウッタラーカンド州の人口経年変化

Nainital 湖が属する Nainital 県および Bhimtal 湖が属する Bhimtal ナガル・パンチャヤットの人口はいずれも増加傾向にある。



出典: 「Census of India 2011, Administrative Atlas, Uttarakhand」

図 1-9 Nainital District および Bhimtal Nagar Panchayat の人口経年変化

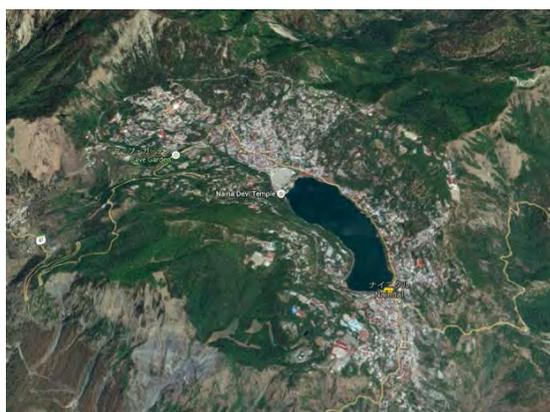
## (2) 調査対象湖の現状

### ア Nainital 湖

#### (ア) 湖周辺環境

##### a 形状

Nainital 湖は海拔 2,084m に位置する自然湖で、イギリス植民地時代の 19 世紀に英国人探検家によって紹介されて以来、湖を中心に避暑地として開発が進んだ。1866 年、1879 年、1880 年に続けて斜面崩壊による地すべりが発生し、中でも 1880 年の災害では死者 151 名を出す大惨事となったが、以降、大規模な斜面崩壊は発生しておらず、現在の地形で安定している。

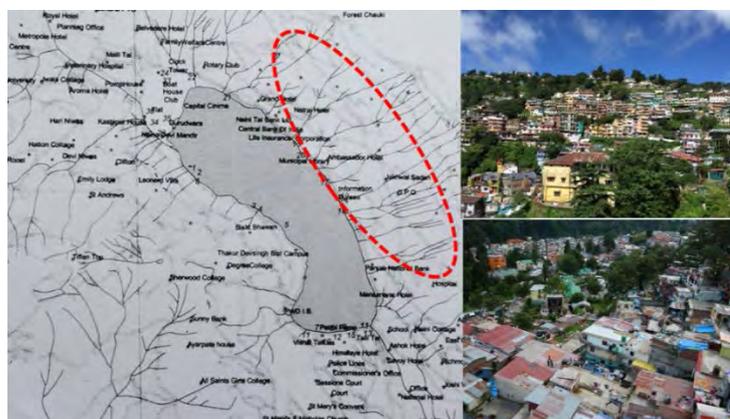


出典:Google マップ

図 1-10 Nainital 湖周辺衛星写真

##### b 開発状況

Nainital 地域の開発は湖上流域から始まった。上流域には、高等裁判所や Kumaun 大学など歴史ある建造物が存在する他、比較的富裕層向けの宿泊施設が立地している。その後、開発エリアは東側斜面に及び、現在では湖畔近辺に宿泊施設や観光客対象の商業施設が立ち並び、斜面には住居が高密度に存在している。湖の西側斜面は開発されておらず、住居はほとんど存在していない。また、Nainital 湖の放流口から下流のエリアは急峻な斜面で地すべりの発生箇所も散見されるが、比較的貧困層の居住地域となっている。



出典:JICA 調査団作成

図 1-11 Nainital 湖東側斜面の居住エリアの状況

c 湖沼保全関連施設

文献およびヒアリング調査の限りでは、下水道管路は整っており、東側斜面の居住エリアからの生活雑排水は下水管で集水して湖内には直接流入せず、下流域に放流されているとのことだったが、雨期の現場踏査では、下図に示すとおり湖東側からは7箇所で見つかった流入が確認された。



出典: JICA 調査団作成

図 1-12 湖への流入水路

流入量が最も多い上流西側、次いで多い上流東側の流入水路も含めて、水路を流れる流入水のほとんどは白濁し、中には明らかな臭気も確認されるなど、雑排水が混入していることが確認された。東側斜面からの水路は、道路沿いの下水管に接続されているものの、雨水を含む流入水の一部は下水管から溢れ出すような形で湖に直接流入していた。斜面に立ち並ぶ居住エリアの排水路にはごみが散乱しているだけでなく、詰まって越溢しているマンホールや屋外洗濯の痕跡も多く見られるなど、排水路や下水管路の維持管理状態が極めて悪い。



図 1-13 東側斜面住居エリアの雨水排水路とごみ止めネットおよび排水状況



**図 1-14 東側斜面住居エリアの越溢しているマンホール及び路上洗濯の状況**  
 また、湖上流域からの下水や生活雑排水は、Nainital 湖で唯一の下水処理場で処理されているが、下水処理場から下流の、Nainital 湖に直接流入する水路は白濁しており、下水臭も確認された。Nainital 市職員へのヒアリングでは、下水処理場から湖までのエリアに居住する住民の生活排水混入が原因とのことであったが、現地調査の限りではその範囲の居住者数はそれほど多くないため、下水処理場での処理そのものも不十分と推察される。



**図 1-15 上流域の下水処理場から湖までの水路の白濁水**

Nainital 湖周辺からは、最大で 20,000m<sup>3</sup>/日の下水が排出されているが、そのうち 10,000m<sup>3</sup>/日は、Nainital 湖から約 20km の下流域の Rusi Gaon (村) に存在する処理能力 5,000m<sup>3</sup>/日の処理場で処理されることになっているが、残りの 10,000m<sup>3</sup>/日はそのまま河川に放流され、さらに 1 箇所の処理場は維持管理されていないため稼働しておらず、新たな処理場を建設中であった。そのため、下水が混入する沢水からは強烈な下水臭を発していた。



**図 1-16 Rusi Gaon の沢水および建設中の下水処理場**

湖周辺の水施設以下のとおりで、3箇所 の深井戸から取水している。

表 1-5 Nainital 湖の取水施設

場所	浄水量	水源	井戸取水深
湖北岸	8.5MLD (8,500m <sup>3</sup> /日)	深井戸	37m
湖北浄水場 1	10MLD (10,000m <sup>3</sup> /日)	浅井戸	4m
湖北浄水場 2	少量	湧水	-
上流域沼地	40m <sup>3</sup> /日	深井戸	40m

出典:ヒアリングを基に JICA 調査団作成

取水場の建設は、古くは 1898 年にまで遡る。湖の水質が悪化する以前は湖水を直接処理していたが、結石患者が増加してきたため現在の深井戸方式に切り替えた。

d 観光・レジャー活動

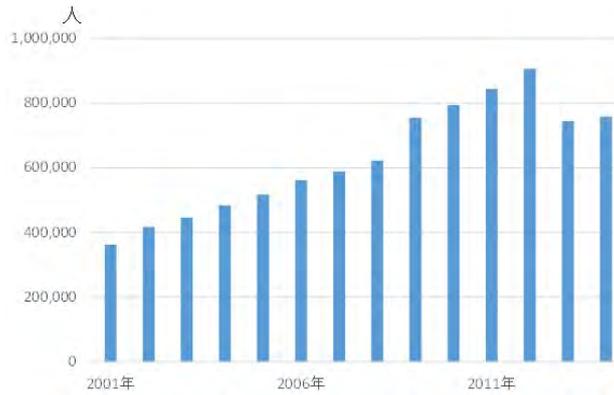
Nainital 湖の存在とヒマラヤ山腹の立地条件によって、19 世紀初頭から英国人の避暑地、及び北部地域の夏期の政治的拠点として発展してきた Nainital 市は、独立以降にデリーやコルカタの富豪の避暑地として開発が進み、現在はインド北部を中心に都市部中間層が大量に訪れる観光都市として成長している。宿泊施設やサービス産業も急激に発展し、観光は地域経済を支える重要な産業の一つとなっている。

Nainital 市の観光入込客数の増加を示すデータとして、市内宿泊施設への宿泊者数の推移を以下に示す。大半がインド国内の旅行者で、2000 年以降の増加率は、居住人口の増加率と同様の傾向である。

表 1-6 Nainital 市の観光客（宿泊者数）の推移

	国内(インド人)宿泊客数	国外(外国人)宿泊客数	合計
2001 年	356,941	5,793	362,734
2002 年	412,440	4,224	416,664
2003 年	441,593	4,839	446,432
2004 年	478,133	6,277	484,410
2005 年	510,957	6,789	517,746
2006 年	554,527	7,533	562,060
2007 年	580,079	9,347	589,426
2008 年	615,469	7,070	622,539
2009 年	749,556	5,772	755,328
2010 年	786,705	7,123	793,828
2011 年	834,405	9,410	843,815
2012 年	898,077	8,256	906,333
2013 年	737,130	7,088	744,218
2014 年	750,501	7,622	758,123

出典: ナイニताल市観光局データ



出典:JICA 調査団作成

図 1-17 Nainital 観光入込客総数の推移

Nainital の最大の観光資源である湖では、湖の上流側及び下流側に何十隻ものレジャーボートの発着場があり、ボート利用が盛んな他、湖岸の周遊散策を楽しむ観光客も多い。湖の水質が与える経済面への影響は小さくないと考えられる。



図 1-18 Nainital 湖のボートレジャー

(イ) 湖内環境

a 湖内形状

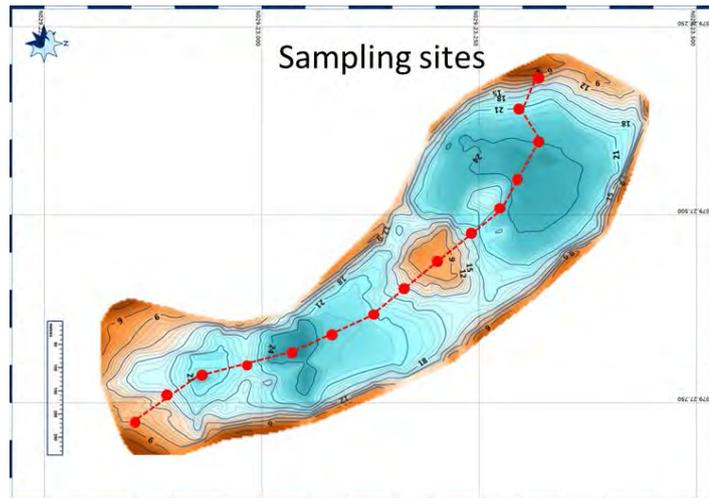
Nainital 湖の物理形状は、環境森林省国家河川保全局発行の「Conservation and Management of Lakes」(2010 年)によると以下のとおりである。

表 1-7 Nainital 湖の物理形状

長さ	最大深	湛水面積
1,432m	27m	48.8ha

出典:「Conservation and Management of Lakes」(環境森林省国家河川保全局, 2010)

本調査において、音響探査機(米国 Lowrance 社製 HDS7)を用い、調査船による湖面走行で緯度・経度・水深を計測し作成した水中地形図を以下に示す。湖の中央部が突起しており、上流部、下流部のそれぞれで碗状の窪地形状となっている。



出典:JICA 調査団作成

図 1-19 Nainital 湖の湖内形状

b 曝気装置

Nainital 湖には、2007 年から Air Diffusion System (ADS) という曝気装置が設置され、現在も稼働している。Nainital 湖は、国家湖沼保全計画で保全事業対象の一つに指定されていることから、保全事業費を充当して設置された。

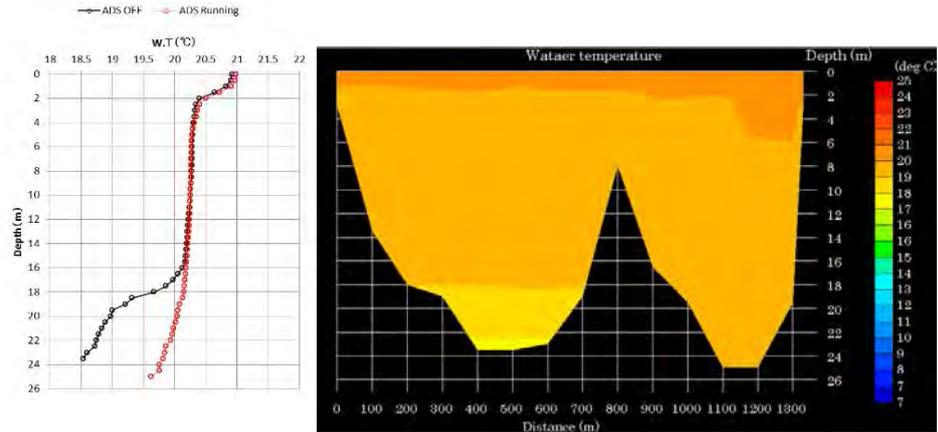


出典:Nainital 湖畔 ADS 管理棟揭示看板

ADS は上記左のような円盤状のディスクで、湖底に設置され、陸上に設置されるコンプレッサーから管を通して送られる圧縮空気を放出することで、湖内の溶存酸素量の改善を図る装置である。Nainital 湖には、上流部と下流部にあわせて 39 台のディスクが設置されている。

c 水温

雨期である 2015 年 8 月の深度別帯水層調査の実施の約 2 週間前に、現地で接続システムの電力トラブルが生じたため、湖の下流部に設置されているディスクはそれ以降稼働していない状態であった。そのため、偶然にも、通常稼働している上流部と約 2 週間稼働していない下流部とでは、湖内環境の変化が生じており、これによって ADS の効果が浮き彫りとなる形で把握できた。

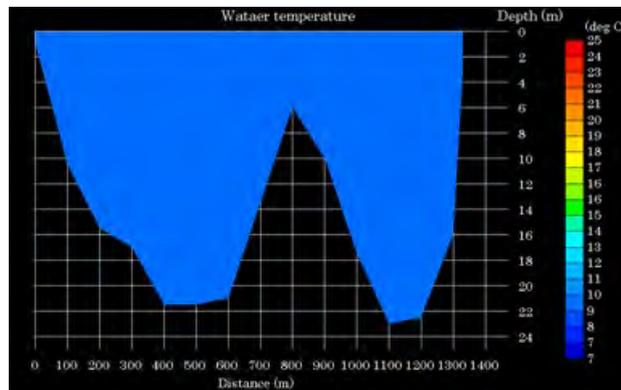


出典:JICA 調査団作成

図 1-20 Nainital 湖の深度別水温（雨期）

ADS が稼働していなかった下流部では水深約 18m の付近で水温変化が確認されたが、上流部では水温変化があまり見られなかった。一般的な湖沼では水温差が 10°C 程度になる湖が多いが、Nainital 湖の下流部での水温差は 2~3°C 程度と極めて小さい。このことから、ADS による気泡の循環作用で底層水が湖内の全域に対流・循環されていることが確認できた。

乾期の水温分布は以下のとおりで、温度分布が一様なことから低層と表層が混合する循環湖の状態であった。この要因には、ADS の影響も少なくはないと考えられるが、水温が 10°C 程度であることから、自然循環の影響であると判断される。乾期には ADS を稼働せずとも自然循環が行われ、高い DO 濃度の表層水が低層に送り込まれることから、乾期の ADS の効果は非常に限定的であると推察される。



出典:JICA 調査団作成

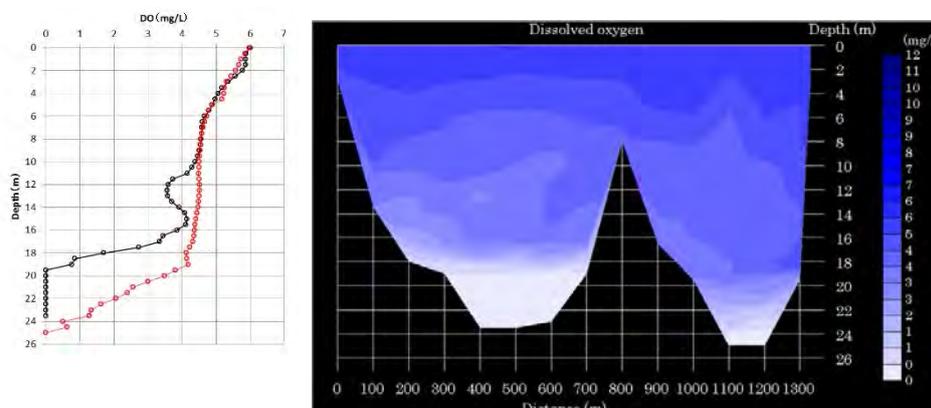
図 1-21 Nainital 湖の深度別水温（乾期）

#### d DO

既存文献やヒアリングによると、ADS が設置される 2007 年以前は低層の DO や BOD がゼロに近く、表層でも 5~6mg/l にしか達していなかったため、7 月~翌 3 月の時期にはアオコの発生や魚類のへい死、湖面からはアンモニア臭や浮泥も確認されていた。しかし、ADS 設置後は水質改善が進んだため、これらの現象は現地調査時には確認されなかった。

しかしながら、下記に示すとおり、ADS 非稼働エリアでは、水温躍層が形成さ

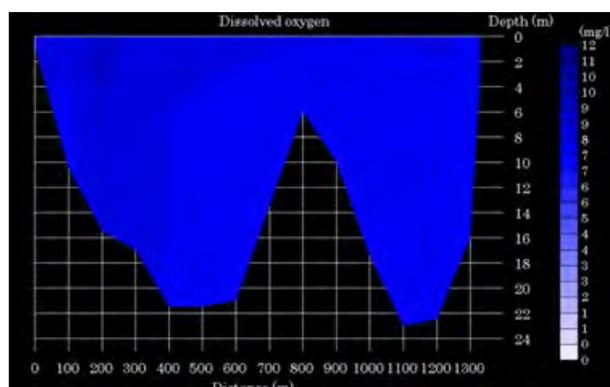
れつつある水深 18m 以下では無酸素状態となっていた。ADS 稼働エリアでも湖底から 2m までは無酸素状態であり、底層の DO 値は極めて劣悪な環境であることが判明した。



出典:JICA 調査団作成

図 1-22 Nainital 湖の深度別溶存酸素量（雨期）

一方乾期は、全層循環による効果で全域に 10mg/L 前後の DO が行き渡っており、貧酸素状態は観測されなかった。これは、気温の低下に伴い湖面の水温が低下することで密度を増した湖水が湖内の下方へ移動するサイクルを繰り返し次第に湖内全域が均一化される、天然湖沼やダム湖などでも良く見られる現象であり、ADS の効果ではないと考えられる。



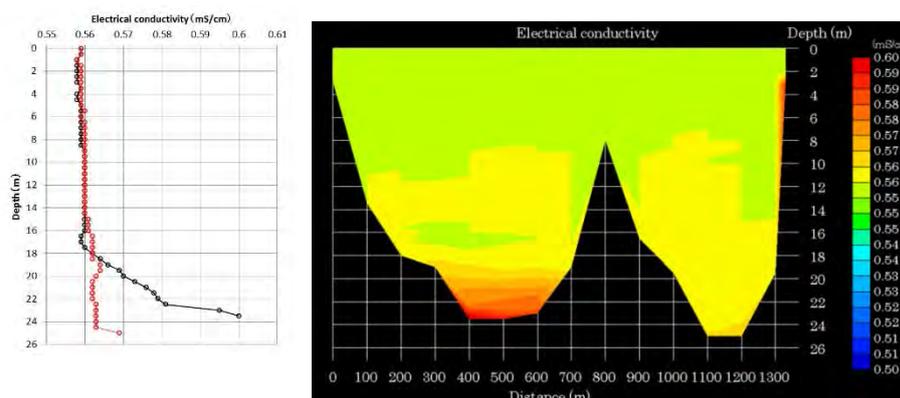
出典:JICA 調査団作成

図 1-23 Nainital 湖の深度別溶存酸素量（乾期）

#### e 電気伝導度

雨期の電気伝導度は、水面から水深 10m までの範囲で約  $0.55\mu\text{S}/\text{cm}$ 、水深 11m 以深ではやや高い  $0.56\mu\text{S}/\text{cm}$  であった。特に、ADS が 2 週間ほど停止していた上流の底層部分では  $0.59\mu\text{S}/\text{cm}$  に達しており、湖内全域と比較して相対的に濃度が高い状態であった。この窪地では、前述したように DO が低く低層に近づくにつれて濃度が連続的に上昇していることから、ADS の一時停止に伴う貧酸素化によって底泥からの栄養塩や金属イオンなどの溶出が促進されたと考えられる。ADS が稼働していた下流の窪地においては、電気伝導度 (EC: Electric Conductivity) の上昇は計測されなかったことから、ADS 運用に伴う溶出抑制効果があることが

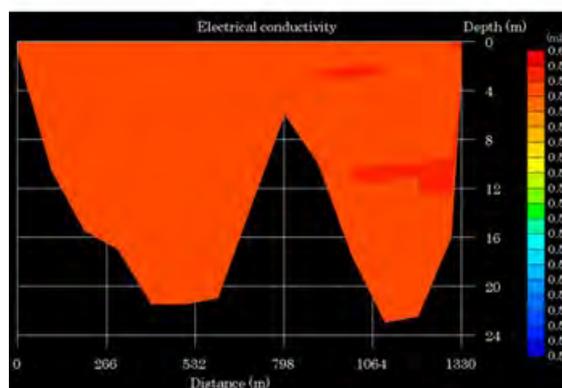
わかった。



出典:JICA 調査団作成

図 1-24 Nainital 湖の深度別電気伝導度（雨期）

乾期の電気伝導度は次図のとおり一様な分布となったものの、濃度は  $0.59 \sim 0.60 \mu\text{S}/\text{cm}$  と雨期に比べて全体的に高かった。この原因の一つとして、乾期の全層循環に伴って金属イオンが巻き上げられた可能性が考えられる。国内の湖沼やダム湖においても、冬期の全層循環後に湖水の濁りが強まることがあるが、これは夏期に底層水中に蓄積された汚濁物質が全域に拡散することが原因と言われている。しかしながら、Nainital 湖の底層水の汚染状況は ADS の運用により緩和されていることが確認できるため、継続的な調査による原因究明が必要である。



出典:JICA 調査団作成

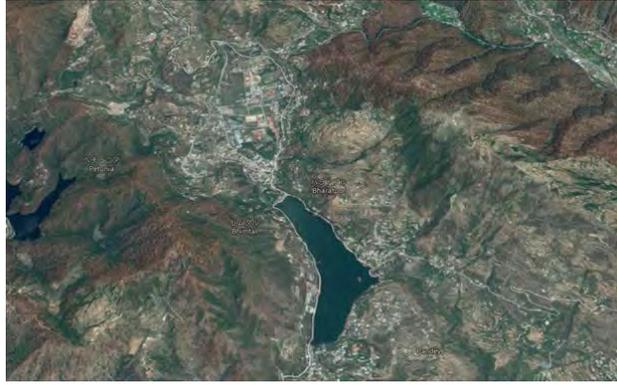
図 1-25 Nainital 湖の深度別電気伝導度（乾期）

## イ Bhimtal 湖

### (7) 湖周辺環境

#### a 形状

Bhimtal 湖は、Nainital 湖より約 700m も低い海拔 1,375m に位置する湖で、Nainital 湖ほど著名ではないものの、ヒマラヤ山脈の南部に属し、ウツタルプラデーシュ州から Nainital 周辺の避暑地に訪れる観光客にとって一帯の湖群の玄関口である。元々は自然湖であったが、灌漑用水や飲料水の確保を目的として重力式ダムの形態となった。上流域面積は比較的広く、流入河川からの堆砂の影響も大きい。



出典:Google マップ

図 1-26 Bhimtal 湖周辺衛星写真



図 1-27 Bhimtal 湖のダム堤体

b 開発状況

上流域には民家や商店のほか、さらに上流域に工場や牧場などが広がっている。2007 年にウッタラーカンド州都市開発局が策定した「City Development Plan: Nainital Revised」では、飽和状態にある Nainital 湖周辺の開発の受け皿としての Bhimtal 湖周辺の都市化計画が明記されており、今後の開発と人口増加が見込まれる地域である。



図 1-28 Bhimtal 湖上流域の開発状況

c 湖沼保全関連施設

Nainital 湖同様に、住宅地となっている湖の東斜面沿いでは下水道管路は整備されており、下水集水槽やポンプ施設も稼働している。



図 1-29 Bhimtal 湖東側の下水集水槽およびポンプ施設

しかし、上流域には下水処理場は無く、湖への 2 箇所流入河川水を通じて、生活雑排水や畜産排水などがほぼ未処理のまま湖に直接流入している。8 月の乾期には、湖水が滞留する箇所ではアオコも確認された。



図 1-30 Bhimtal 湖上流の流入河川水および湖への流入部の状況

湖周辺には 1975 年に建設された取水・浄水施設が湖畔に一箇所存在する。建設当時は澄んでいた湖水を直接取水し、周辺村民に配水していたが、1990 年代以降から湖の汚染が進み、水質悪化で腸チフスや下痢等の症状が出る住民が増えたため 4 年前に湖水の直接取水を止め、地下水に切り替えている。地下水取水箇所は浄水場内にあり、地下 33m 地点から 100m<sup>3</sup>/日を汲み上げている。



図 1-31 Bhimtal 湖畔の取水・浄水施設

d 観光・レジャー活動

Nainital 市街地ほどには開発は進んでおらず、宿泊施設も点在している程度だが、Nainital 湖同様にレクリエーション用の水上貸し出しボートも多く、また Bhimtal 湖の下流部の浮島を利用した水族館や、ダム堤体裏側のヒンドゥー教関連施設などの観光資源も存在する。宿泊施設の数に限りがあることもあり、滞在型ではなく訪問型観光地としての性格が強い。



図 1-32 Bhimtal 湖の観光状況

文献や村議へのヒアリングによると、2014 年までの Bhimtal 湖は、ダムから下流に灌漑用途のために湖水を放流していたが、地域住民から反対の意見が挙げられたため、2015 年からは乾期の下流への放流を止めたとのことである。現地調査での雨期と乾期での水位差は約 2m であった。

住民が反対した理由は、Bhimtal 湖が浮島まで歩いて渡れるほど極端に水位が低下してしまえば、Bhimtal 村の観光地としての存在価値が薄れてしまうというものである。Bhimtal 湖を中心とする観光産業は地域経済を支えているだけでなく、この地域は標高が低く Nainital 湖群エリアへのアプローチ道路沿いに立地していることから、Bhimtal 湖は一部の湖観光の玄関口として象徴的な存在でもある。観光客に対して湖群エリアに到着して最初に与える印象の観点から、地域住民のみならず政府機関も、悠然と水を湛える湖の存在意義は下流域への灌漑用途の効能より大きいと捉えている。

(i) 湖内環境

a 湖内形状

Bhimtal 湖の物理形状は、環境森林省国家河川保全局発行の「Conservation and Management of Lakes」(2010 年)によると以下のとおりである。

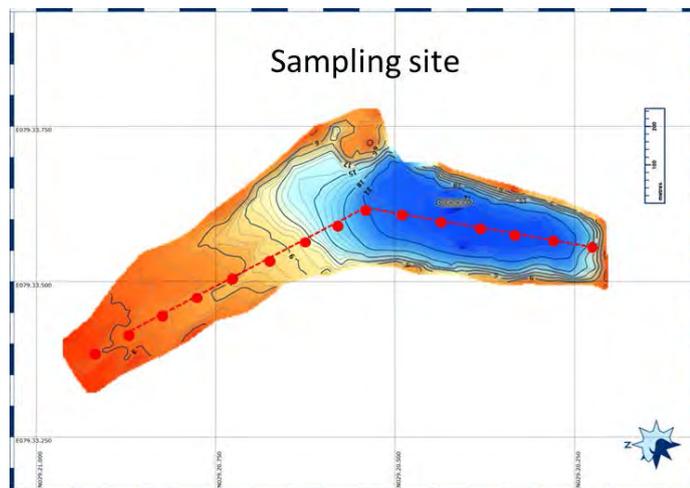
表 1-8 Bhimtal 湖の物理形状

長さ	最大深	湛水面積
1,701m	18m	47.8ha

出典:「Conservation and Management of Lakes」(環境森林省国家河川保全局, 2010)

Nainital 湖同様に、音響探査機を用いて作成した水中地形図を以下に示す。調査の結果、最大水深が 24m あり、上記情報と大きく異なることが判明した。また、上流部は流入河川からの堆砂の影響で浅く、下流部で急激に深くなっていること

がわかった。Bhimtal 湖での湖沼保全事業で堆砂の浚渫が実施されたことも大きく影響していると推察される。

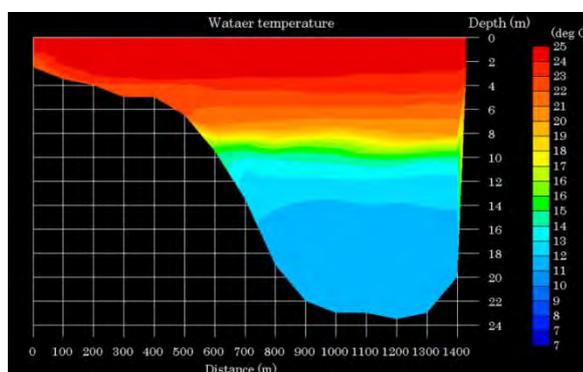


出典:JICA 調査団作成

図 1-33 Bhimtal 湖の湖内形状

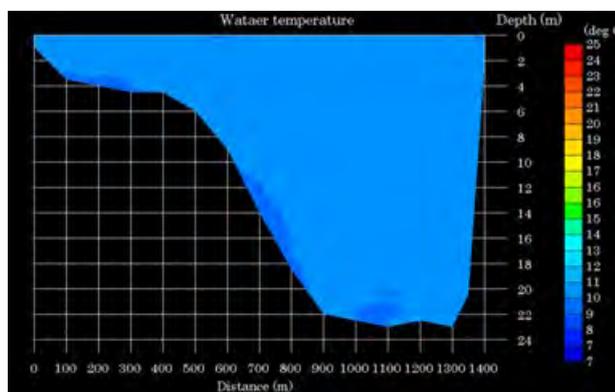
b 水温

乾期に実施した深度別帯水層の水温分布を見ると、表層と低層の温度差は 15 度で明確な水温躍層が形成されていたが、乾期には全層循環によって一様な水温分布となっていた。



出典:JICA 調査団作成

図 1-34 Bhimtal 湖の深度別水温 (雨期)

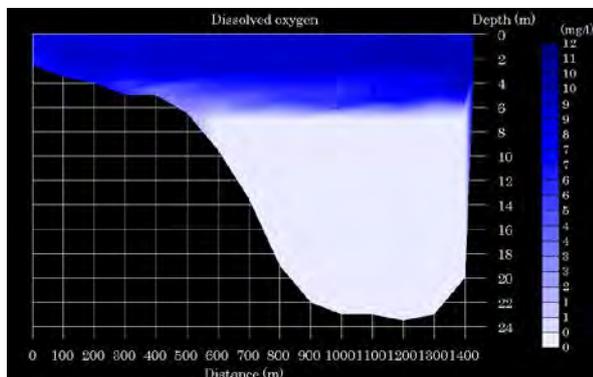


出典:JICA 調査団作成

図 1-35 Bhimtal 湖の深度別水温 (乾期)

c DO

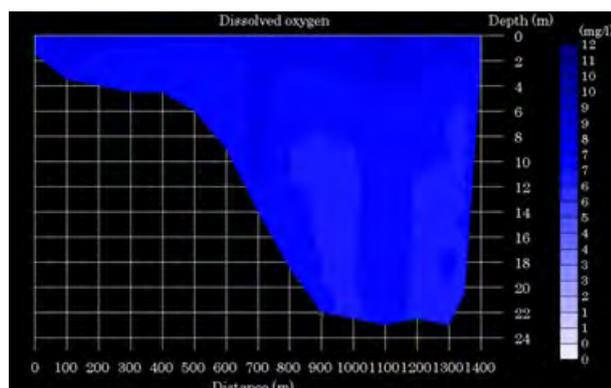
下図のとおり、水深 7m 以深から大部分で無酸素状態となっており、明確な水温躍層の存在によって大気から供給される酸素の底層への供給が遮断されるため、Bhimtal 湖は Nainital 湖と比べても極端な貧酸素状態となっていることが判明した。



出典:JICA 調査団作成

図 1-36 Bhimtal 湖の深度別溶存酸素量（雨期）

一方乾期には、全層循環によって一様な溶存酸素量分布となっていた。

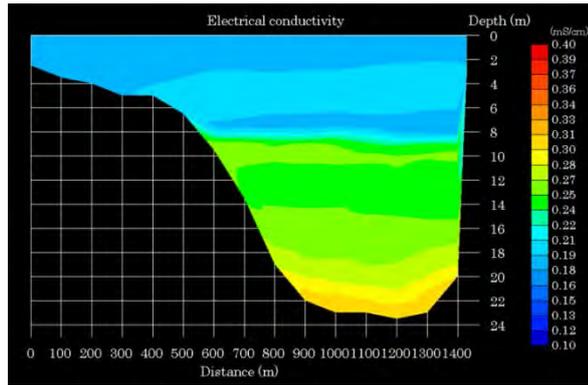


出典:JICA 調査団作成

図 1-37 Bhimtal 湖の深度別溶存酸素量（乾期）

d 電気伝導度

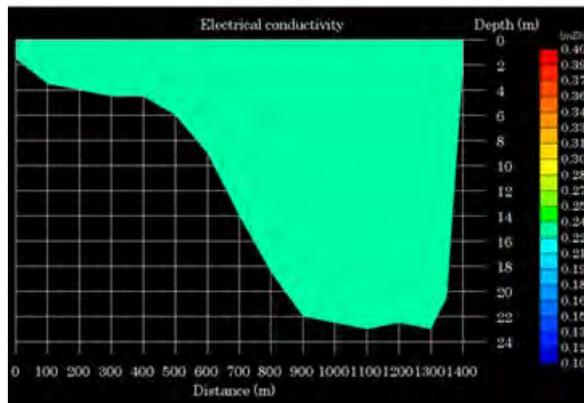
Bhimtal 湖の雨期の電気伝導度は、Nainital 湖と比較すると相対的には低いものの、表層付近で  $0.18\sim 0.19\mu\text{S}/\text{cm}$ 、底層で  $0.24\sim 0.30\mu\text{S}/\text{cm}$  と、水温躍層を境界として急激に変化し、また底泥に近いほど濃度が連続的に高い状況であった。これは底層水の無酸素化に伴う底泥からの栄養塩や金属類の溶出を意味している。後述する水質分析結果から推察するとアンモニウムイオンが主な要因と考えられる。特に、低層の電気伝導度の変化が顕著なことから、湖底の環境は底泥の堆積によって劣悪であることが示唆される。



出典:JICA 調査団作成

図 1-38 Bhimtal 湖の深度別電気伝導度（乾期）

乾期の電気伝導度は全層循環によって 0.24 $\mu$ S/cm に均一化されていた。雨期に底層水中に蓄積された金属イオン等が湖内全域に拡散したと考えられる。



出典:JICA 調査団作成

図 1-39 Bhimtal 湖の深度別電気伝導度（乾期）

#### ウ 両湖の詳細水質比較

##### (7) 採水箇所

両湖を対象に、北原式採水器を用いて以下に示す採水地点で採取したサンプル水の詳細な水質分析を行った。

表 1-9 Nainital 湖の採水サンプルの採水地点

採水箇所	採水地点／採水方法
表層水	水面下 0.5mで採水
底層水	湖底上 1.0mで採水
流入水	バケツで採水
ADS 近傍底層水	散気装置周辺の湖底上 1.0mで採水

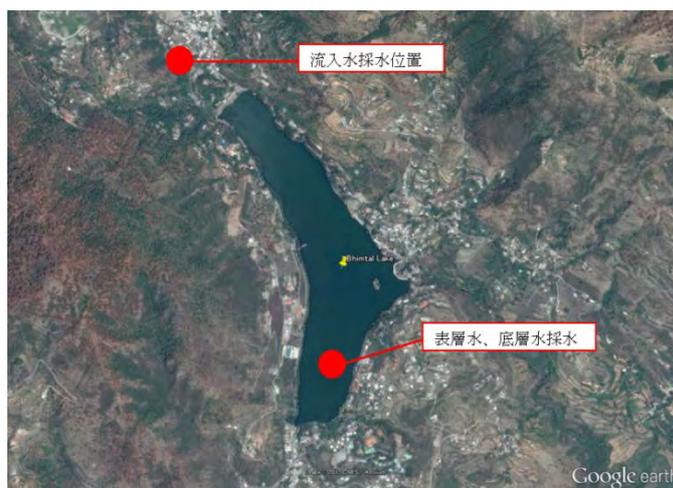


出典:Google earth を基に JICA 調査団作成

図 1-40 Nainital 湖のサンプル水採水箇所

表 1-10 Bhimtal 湖の採水サンプルの採水地点

採水箇所	採水地点／採水方法
表層水	水面下 0.5m で採水
底層水	湖底上 1.0m で採水
流入水	バケツで採水



出典:Google earth を基に JICA 調査団作成

図 1-41 Bhimtal 湖のサンプル水採水箇所

(i) 水質試験結果概要

以下に、全層循環によって雨期に比べて水質が良い乾期に採水した、両対象湖の水質試験結果の詳細を示す。

表 1-11 採水サンプルの水質試験結果

サンプル水		全窒素				全リン	リン酸 態リン	全鉄		全マンガン		全ヒ素		有機物指標	
		無機態窒素 (DIN)						T-P (mg/l)	D-Fe (mg/l)	T-Mn (mg/l)	D-Mn (mg/l)	T-As (mg/l)	D-As (mg/l)	化学的 酸素要求 (mg/l)	生物的 酸素要求 (mg/l)
		T-N (mg/l)	NH4-N (mg/l)	NO3-N (mg/l)	NO2-N (mg/l)										
Nainital	表層	24.6	1.11	1.30	0.09	<0.20	<0.20	0.0344	0.0159	<0.0016	<0.0016	<0.002	<0.002	17.1	4.2
	底層	23.5	2.71	1.20	<0.01	0.234	<0.20	0.0516	<0.0043	0.299	0.293	<0.002	<0.002	29.9	9.6
	流入水	25.8	0.30	2.40	0.02	0.279	<0.20	<0.0043	<0.0043	<0.0016	<0.0016	<0.002	<0.002	25.6	14.8
	ADS近傍底層水	17.6	0.97	1.50	0.02	0.22	<0.20	<0.0043	<0.0043	0.3852	0.019	<0.002	<0.002	25.6	6.7
Bhimtal	表層	29.4	1.16	1.20	0.04	0.303	<0.20	<0.0043	<0.0043	<0.0016	<0.0016	<0.002	<0.002	21.4	6.2
	底層	35.8	5.52	0.50	0.02	0.234	<0.20	1.3389	1.258	0.5684	<0.0016	<0.002	<0.002	38.5	11.6
	流入水	20.2	0.24	1.70	<0.01	0.529	<0.20	0.1901	<0.0043	0.5723	0.032	<0.002	<0.002	34.2	17.7
インド水質基準値 (mg/l)		1.0	0.20	0.05	0.01	0.2	0.2	0.0043	0.0043	0.0016	0.0016	0.002	0.002	1.0	2.0

出典:JICA 調査団作成

ここで、富栄養の判断指標とされる T-N (全窒素) および T-P (全リン) が注目される。

富栄養湖とされるのは、T-N が 0.15-0.20mg/L 以上、T-P では 0.02mg/L 以上であり、また、我が国の湖沼における生活環境の保全に関する環境基準の中で「国民の日常生活（沿岸の遊歩等を含む。）において不快感を生じない限度」として、T-N は 1.0mg/L 以下、T-P は 0.1mg/L 以下とされている。

しかし、両湖の T-N および T-P は上表のとおり、両湖ともにこれら指標値を大きく超過しており、T-N の場合 100~200 倍、T-P の場合 10~20 倍と、富栄養の程度としては極めて劣悪な水質と判断される。

表 1-12 富栄養湖の目安と両湖の T-N および T-P

富栄養化の目安	T-N		T-P	
	0.15-0.20 mg/L		0.02 mg/L	
	ナイニタール湖	ビムタル湖	ナイニタール湖	ビムタル湖
表層水	24.6	29.4	<0.20	0.30
底層水	23.5	35.8	0.23	0.23
流入水	25.8	20.2	0.28	0.53
ADS付近	17.6	-	0.22	-

出典:JICA 調査団作成

(7) 両湖の個別水質項目に関する詳細比較

a 窒素系栄養塩

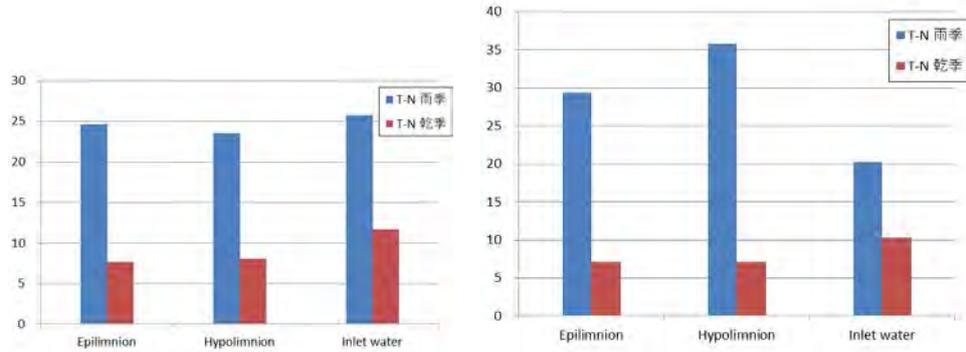
(a) 全窒素 (T-N)

両湖とも T-N 濃度が極めて高い結果であった。日本国内における環境基準（生活環境の保全に関する環境基準、湖沼）では、基準値が最も低い類型 V の場合においても、1mg/L 以下と定められているが、両湖共にその 20 倍以上の検出値であった。これは日本国内では下水処理場へ流入する生下水の T-N 値と概ね同程度であり、富栄養化の程度は極めて高い。

表 1-13 国内の各下水処理場の流入水質参考値

			SS	BOD	COD	T-N	T-P
平成26年	大阪	12か所平均	93	120	-	26	2.9
		東部下水処理場	112	175	108	26.7	2.82
	高松	牟礼浄化苑	177	263	126	32.9	4.48
		庵治浄化センター	158	234	121	30	3.2

出典:JICA 調査団作成



Nainital 湖

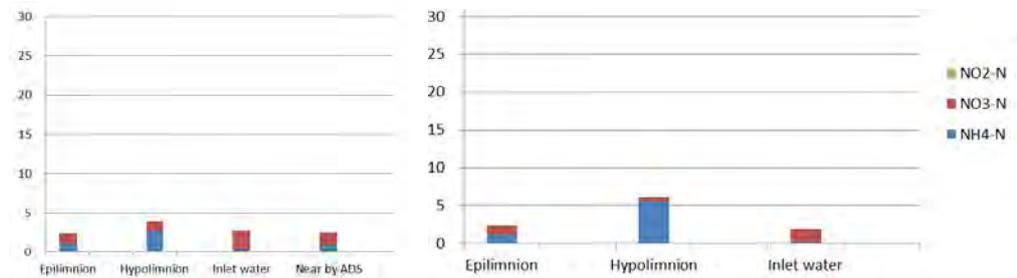
Bhimtal 湖

出典:JICA 調査団作成

図 1-42 両湖の雨期・乾期の全窒素 (T-N)

なお、乾期には両湖とも雨期に比べて大幅に濃度が低下した。この原因は、乾期の流入水量の減少に加え、未分解有機物の沈殿によって湖水中の T-N が減少した可能性も考えられる。

一方で、後述するアンモニア態窒素 (NH<sub>4</sub>-N)、硝酸態窒素 (NO<sub>3</sub>-N)、及び亜硝酸態窒素 (NO<sub>2</sub>-N) の無機態窒素 (DIN) の濃度は 2~4mg/L と比較的高いものの、DIN の T-N に占める割合が 10~20% と小さい。一般的に、無機態の窒素 (DIN) の割合は、微生物等の分解作用によって増加し、下水処理場等における一次処理の後には 90% 程度に達する。これらのことから、両湖の湖水には、生活雑排水や人糞等に由来する有機態窒素が多く含まれ、いわゆる一次処理前の生下水が貯留している状態に近いと考えられる。



Nainital 湖

Bhimtal 湖

出典:JICA 調査団作成

図 1-43 両湖の乾期の無機態窒素 (DIN)

(b) アンモニア態窒素 (NH<sub>4</sub>-N)

T-N と同様にアンモニア態窒素も高濃度で、インドの水質基準の下から 2 番目にあたる D 分類の養殖・野生生物の増殖を用途とする水源に適用される基準値

1.2mg/L を大幅に超える値が雨期に検出されており、低層の貧酸素化に伴うアンモニウムイオンの溶出が原因と考えられる。

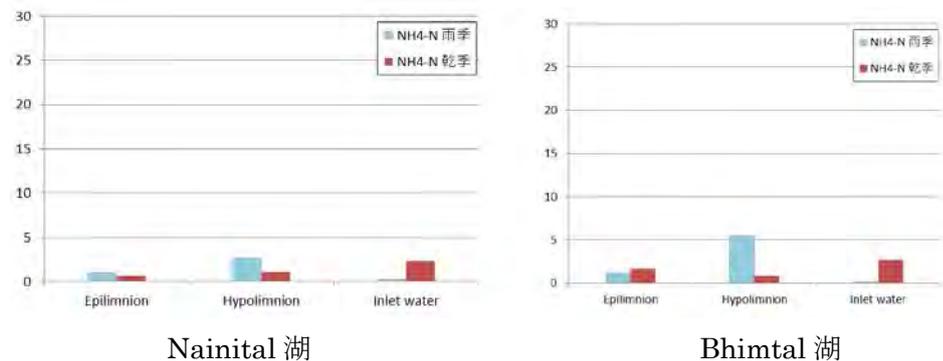


図 1-44 両湖の雨期・乾期のアンモニア態窒素 (NH<sub>4</sub>-N) 出典:JICA 調査団作成

(c) その他(硝酸態窒素 (NO<sub>3</sub>-N)、亜硝酸態窒素 (NO<sub>2</sub>-N))

両湖ともに硝酸態窒素 (NO<sub>3</sub>-N) の濃度は低く、亜硝酸態窒素 (NO<sub>2</sub>-N) も検出限界値以下であり、問題となるレベルではない。なお、日本国内の基準値 (人の健康の保護に関する環境基準) では硝酸態窒素は 10mg/L 以下と定められているが、インドでは基準値となっていない。

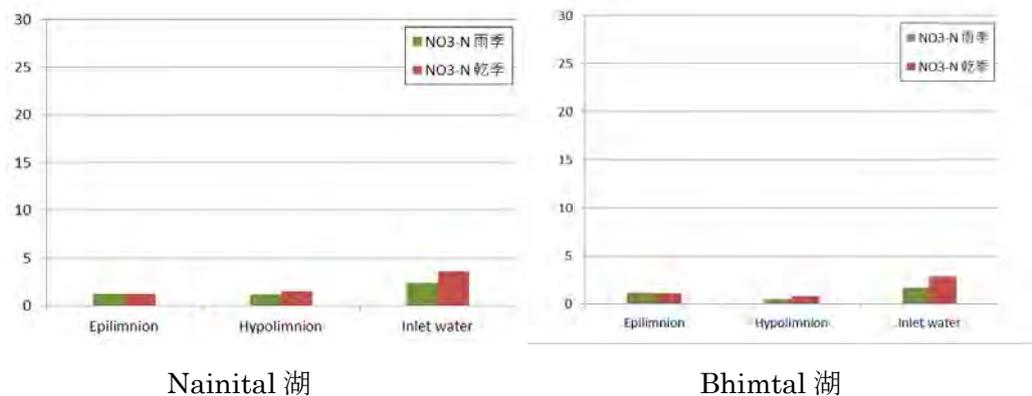


図 1-45 両湖の雨期・乾期の硝酸態窒素 (NO<sub>3</sub>-N) 出典:JICA 調査団作成

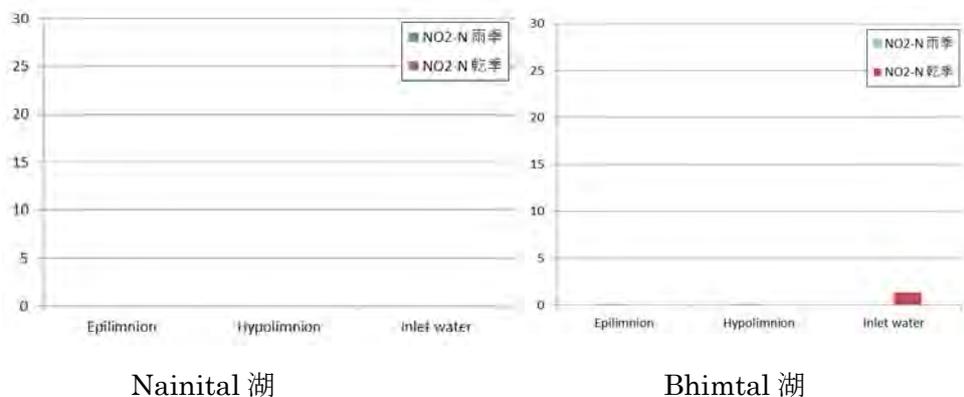


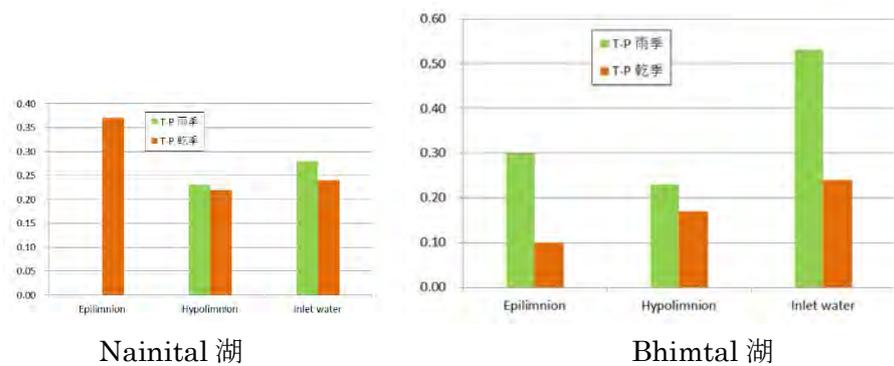
図 1-46 両湖の雨期・乾期の亜硝酸態窒素 (NO<sub>2</sub>-N) 出典:JICA 調査団作成

b リン

インドではリンは水質基準項目ではないが、全リン (T-P) の富栄養化の目安は 0.02mg/L で、日本の環境基準では「日常生活において不快感を生じない限度」として T-P は 0.1mg/L 以下とされている。これに比べ、両湖水ともに T-P は 0.2~0.3mg/L の範囲と高い濃度である。

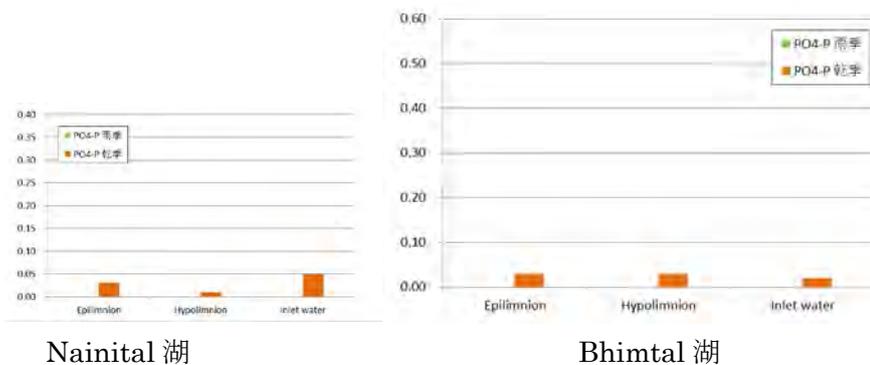
T-P の内、リン酸態リン (PO<sub>4</sub>-P) の占める割合は 5~10%であった。底泥の無酸素化に起因するリンの溶出は PO<sub>4</sub>-P の形態であり、WEP システムなどの酸素供給によって除去されるが、割合が大きいため効果は限定的である。

なお、湖水中の植物プランクトンの異常増殖時には 1 次生産による多量の取り込みによってリン酸態リンが枯渇するといった現象が見られることがあるが、現地の目視調査では、植物プランクトンが異常に多い点は確認できなかったため、リン酸態リンの枯渇原因は不明である。



出典: JICA 調査団作成

図 1-47 両湖の雨期・乾期の全リン (T-P)



出典: JICA 調査団作成

図 1-48 両湖の雨期・乾期のリン酸態リン (PO<sub>4</sub>-P)

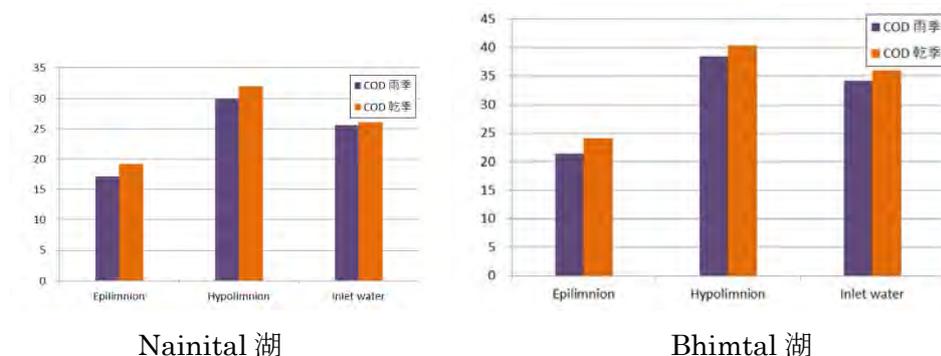
c 有機物

(a) 化学的酸素要求量 (COD)

COD はインドの水質基準項目には無いが、日本の環境基準では日常生活において不快感を生じない限度として 8mg/L 以下とされている。両湖とも比較的高濃度の COD が検出された。

しかし、両湖共に雨期、乾期の差は少なかった。Nainital 湖では ADS による湖水の循環が発生しているものの、循環に伴う湖水の流動よりも沈降速度が大きい

ものが存在していることを示唆しており、生活雑排水等由来の糞便や食物残渣等の可能性が考えられる。Bhimtal 湖では、固形物を含む COD 成分が貧酸素化した底層水中へ沈積したことにより好氣的な分解が進んでいないことが原因と考えられる。



出典: JICA 調査団作成

図 1-49 両湖の雨期・乾期の化学的酸素要求量 (COD)

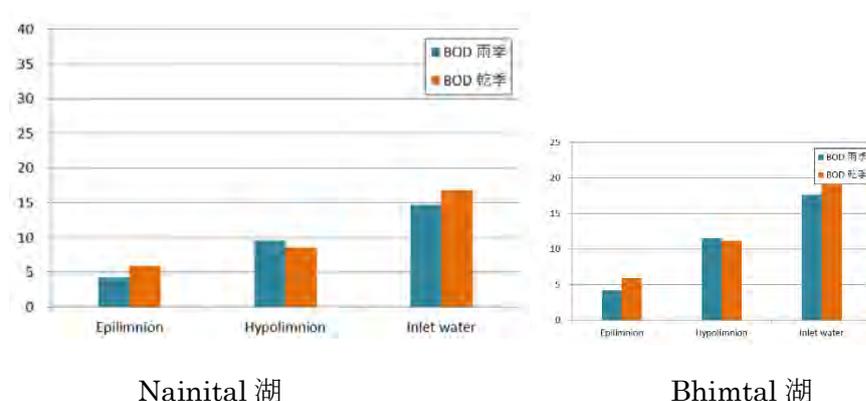
(b) 生物的酸素要求量 (BOD)

BOD は微生物による分解作用を比較的受けやすい易分解性有機物量を示す。インドの水質基準では、最良レベルの A 分類である消毒を施した飲料水（従来型水処理未実施）では 2mg/L 以下、B 分類の野外入浴および C 分類の従来型水処理および消毒を施した飲料水では共に 3mg/L 以下と定められている。

両湖共に、表層でも基準値を上回る値が検出された。また、濃度は表層水、底層水、流入水の順で高くなっており、固形物を含む BOD 成分が底層水中へ沈積したことによる影響が大きいと推測される。これらは生活雑排水等由来の糞便や食物残渣等が主要因と考えられる。

Nainital 湖では ADS による湖水の循環が発生していることから、循環に伴う湖水の流動よりも沈降速度が大きいものが存在していることを示唆する。

一方、Bhimtal 湖の底層水は無酸素化が進行していることから、BOD 成分は好氣的に分解されず蓄積し、循環期に全層へ拡散されている可能性がある。また、乾期に表層水の BOD 濃度がわずかながら上昇していることから、雨期に底層水中に蓄積した BOD の拡散という季節変動も示唆される。



出典: JICA 調査団作成

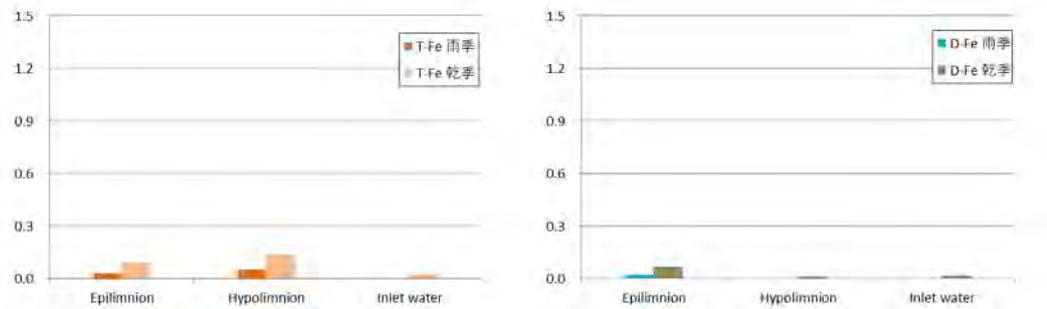
図 1-50 両湖の雨期・乾期の生物的酸素要求量 (BOD)

d 金属イオン

(a) 全鉄(T-Fe)および溶存性鉄(D-Fe)

種々の湖沼と河川の表層水における溶解性鉄の濃度は世界平均値で約0.04mg/Lといわれている。

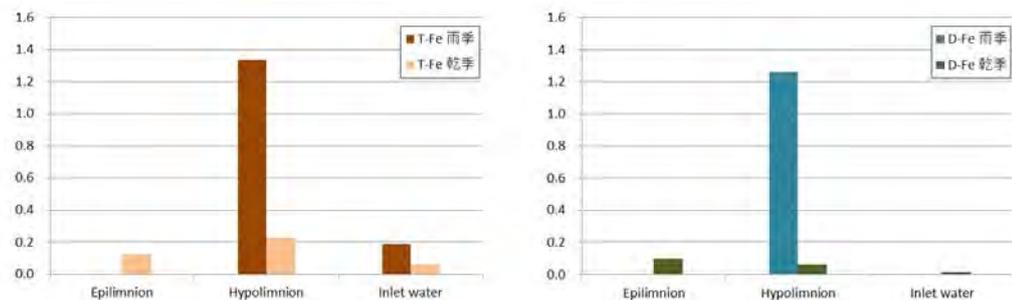
Nainital湖の全鉄(T-Fe)および溶解性鉄(D-Fe)の濃度は0.03~0.05mg/Lであり、日本の水道水質基準(<0.3mg/L)と比較しても低い。一般的に底泥付近が無酸素状態になると $Fe^{3+} \leftrightarrow Fe^{2+}$ の平衡が右側に移行し、溶存態である2価鉄として湖水中へ放出される。Nainital湖においては、ADSの運用により底泥付近の貧酸素状態が軽減されていることから溶存性鉄の放出が抑制されている可能性もある他、鉄鉱床を含まないといった地質的要因も考えられる。



出典:JICA 調査団作成

図 1-51 Nainital湖の全鉄(T-Fe)および溶解性鉄(D-Fe)

一方、雨期のBhimtal湖の底層水中には溶解性鉄(D-Fe)が高濃度に蓄積した状態であった。乾期の濃度は低いことから、全層循環による酸素供給による酸化析出反応を経て沈殿したものと考えられる。また、全鉄の内、溶存性鉄の占める割合は9割程度と高い。これらのことから、底層水の貧酸素が原因で、雨期に底泥から溶出したものと判断できる。



出典:JICA 調査団作成

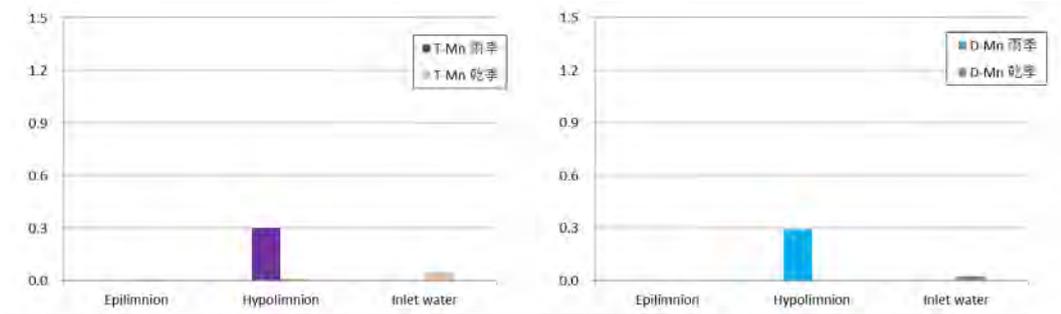
図 1-52 Bhimtal湖の全鉄(T-Fe)および溶解性鉄(D-Fe)

(b) 全マンガン(T-Mn)および溶存性マンガン(D-Mn)

日本におけるマンガンの水道水質基準値は0.05mg/Lであるが、両湖とも日本の基準値を大幅に上回る結果であった。

Nainital湖底層水では全マンガン(T-Mn)に占める溶存性マンガン(D-Mn)の割合が高く、底泥からの溶出が示唆される。ADS近傍においては、溶解性マン

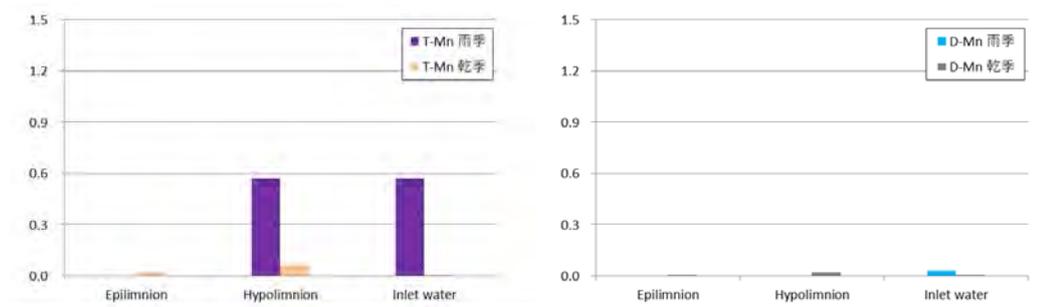
ガン (D-Mn) の占める割合は小さく、曝気によるマンガンの酸化が起きていると推測される。



出典: JICA 調査団作成

図 1-53 Nainital 湖の全マンガン (T-Mn) および溶解性マンガン (D-Mn)

一方 Bhimtal 湖では、全マンガン (T-Mn) 濃度は高いものの、溶解性マンガン (D-Mn) はほとんど検出されなかった。Bhimtal 湖底層水は強い還元状態 (無酸素) であったが、底泥からの溶出によるものではなく河川から流入したものが底層水中に蓄積したものと推定される。



出典: JICA 調査団作成

図 1-54 Bhimtal 湖の全マンガン (T-Mn) および溶解性マンガン (D-Mn)

(エ) バブリング試験結果

a 試験方法

雨期および乾期のそれぞれで、両湖の採水サンプルと同様の水質の水を容器に入れ簡易バブリング装置によるバブリング試験を実施し、溶存酸素量の増加がもたらす水質改善効果の検討を行った。

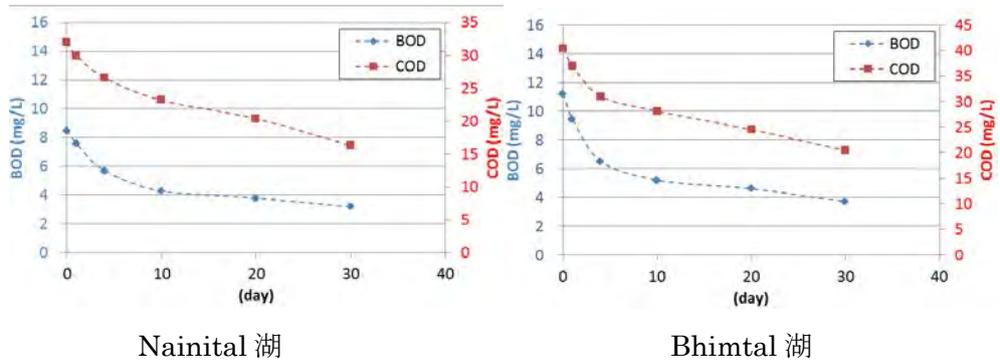


図 1-55 バブリング試験の様子

b 試験結果

(a) BOD および COD

両湖ともに、BOD および COD 濃度はバブリング試験開始後 1 週間程度で大きく低下し、その後 30 日後まではほぼ一定の濃度低下現象が確認された。それぞれの 30 日後の初期濃度に対する減少率は、Nainital 湖では BOD が 62%、COD が 49%、Bhimtal 湖では BOD が 67%、COD が 50%であった。

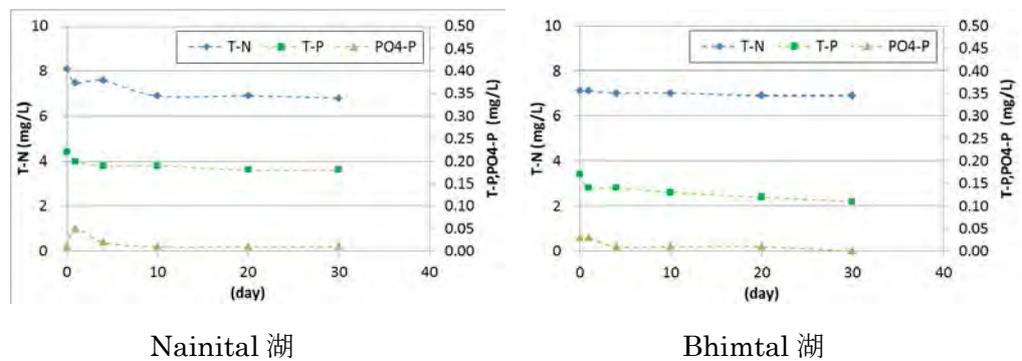


出典:JICA 調査団作成

図 1-56 バブリング試験による BOD・COD 濃度の変化

(b) 栄養塩

栄養塩については、全窒素 (T-N) は両湖ともに大きな変化は生じなかった一方で、全リン (T-P) はわずかながら緩やかな減少傾向が確認された。この理由には、 $\text{PO}_4\text{-P}$  が水酸化第二鉄 ( $\text{Fe}^{3+}$ ) との結合作用によって沈殿したことが考えられる。



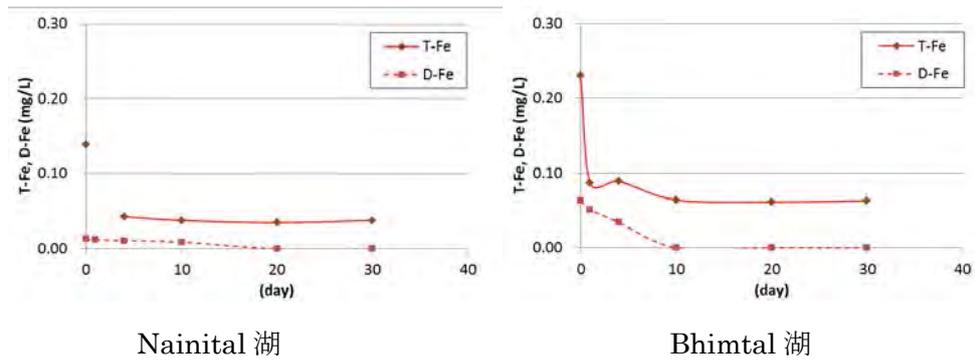
出典:JICA 調査団作成

図 1-57 バブリング試験による栄養塩濃度の変化

(c) 鉄

Nainital 湖では、T-Fe はバブリング開始 4 日後に 0.04mg/L まで低下し、その後の濃度は一様となった。D-Fe はバブリング開始後からわずかに低下傾向であり、20 日後には検出限界値 (<0.0043mg/L) 以下となった。

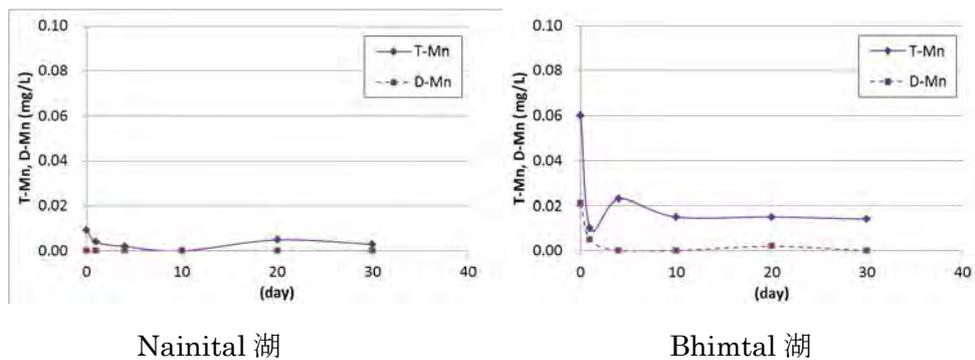
Bhimtal 湖も同様の傾向だったが、減少の程度は Nainital 湖に比べて大きく、バブリングによる酸化に伴う濃度減少効果が期待できる結果となった。



出典:JICA 調査団作成  
 図 1-58 バブリング試験による全鉄 (T-Fe) および溶解性鉄 (D-Fe) の変化

(d) マンガン

Nainital 湖では全マンガン (T-Mn)、溶解性マンガン (D-Mn) の濃度が低いため、明確な傾向は確認できなかったが、Bhimtal 湖では、バブリング試験開始 1 日後に T-Mn、D-Mn とともに急激に低下し、その後は一定となった。

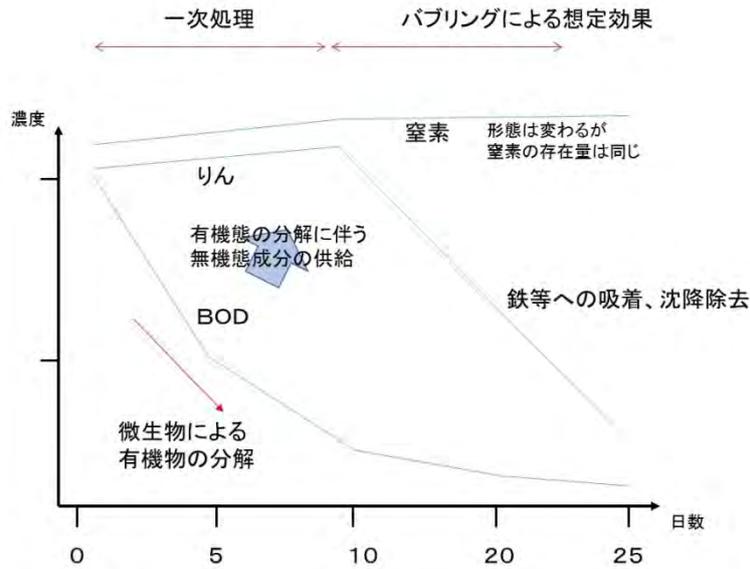


出典:JICA 調査団作成  
 図 1-59 バブリング試験による全マンガン (T-Mn) および溶解性マンガン (D-Mn) の変化

c 考察

バブリング試験では通常、バブリング開始後数日でリンや窒素の栄養塩や BOD の低減効果が明確に現れるが、今回のバブリング試験では早期に効果が発現されず、長期のバブリングによって徐々に濃度が低下することが確認できた。

早期の効果発現が見られなかった理由には、両湖ともに未分解の有機物 (易分解性有機物) が多量に含まれているため、一次処理の微生物による有機物分解過程において有機物分解時に放出される栄養塩と酸素供給による沈殿除去が相互作用したことが考えられる。このバブリング日数と BOD や栄養塩の濃度変化の関係は、次のイメージ図に示すとおりである。



出典: JICA 調査団作成

図 1-60 酸素供給による栄養塩と BOD の変化イメージ図

結果的には、両湖ともに、10 日間のバブリング状態の条件では 50%以上の BOD 濃度減少が確認でき、最終的には特に Bhimtal 湖での BOD 濃度の減少率が大きかった。バブリング試験の状態は、WEP システムによる酸素供給と類似の状態といえる。これらのことから、BOD の削減効果がより期待できるのは Bhimtal 湖であると判断される。

## エ 水収支・物質収支

### (7) 流入河川調査結果

両湖の主要流入河川での流入量算出結果を以下に示す。

表 1-14 Nainital 湖の主要流入河川流入量

項目 No.	幅行き m	水深 cm	流速 cm/sec	面積 cm <sup>2</sup>	流量		備考
					cm <sup>3</sup> /sec	m <sup>3</sup> /d	
1	0	0	0				
2	0.5	5	0.0	125	0.0	0.0	1-2の面積と流量
3	1.0	3	0.0	200	0.0	0.0	2-3の面積と流量
4	1.5	4	4.3	175	376.3	32.5	3-4の面積と流量
5	2.0	9	10.3	325	2372.5	205.0	4-5の面積と流量
6	2.5	9	23.1	450	7515.0	649.3	5-6の面積と流量
7	3.0	10	20.2	475	10283.8	888.5	6-7の面積と流量
8	3.5	1	0.0	275	2777.5	240.0	7-8の面積と流量
9	4.0	5	3.3	150	247.5	21.4	8-9の面積と流量
10	4.6	0	0.0	150	247.5	21.4	9-10の面積と流量
合計					23820.0	2058.0	

出典: JICA 調査団作成

表 1-15 Bhimtal 湖の主要流入河川流入量

項目 No.	幅行き m	水深 cm	流速 cm/sec	面積 cm <sup>2</sup>	流量		備考
					cm <sup>3</sup> /sec	m <sup>3</sup> /d	
1	0.0	0	0.0				
2	0.2	3	0.0	30	0.0	0.0	1-2の面積と流量
3	0.4	5	18.8	80	752.0	65.0	2-3の面積と流量
4	0.6	5	53.7	100	3625.0	313.2	3-4の面積と流量
5	0.8	5	27.1	100	4040.0	349.1	4-5の面積と流量
6	1.0	5	14.5	100	2080.0	179.7	5-6の面積と流量
7	1.2	6	16.5	110	1705.0	147.3	6-7の面積と流量
8	1.4	2	0.0	80	660.0	57.0	7-8の面積と流量
9	1.5	0.00	0.0	10	0.0	0.0	8-9の面積と流量
合計					12862.0	1111.3	

出典:JICA 調査団作成

(イ) 水収支

a Bhimtal 湖

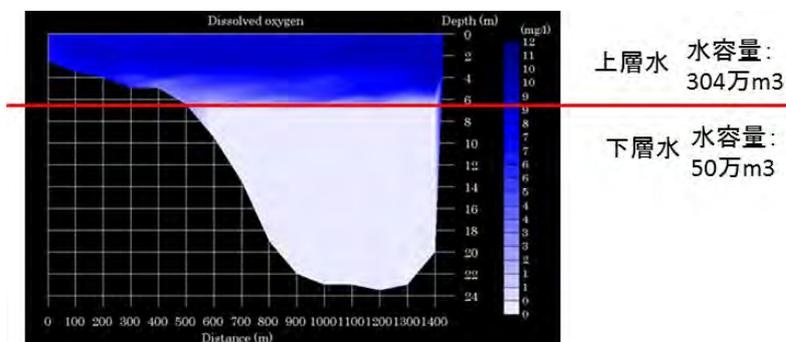
現況調査の結果から、表層水及び底層水の容量はそれぞれ 3745,000m<sup>3</sup> (86.7%)、500,000m<sup>3</sup> (13.3%) と算出される。

既存文献から、湖の蒸発量は降水量の 6 割、全流入に対する地下水湧出の占める割合は、雨期 35%、乾期 80%と仮定し、年間降雨量 2,143mm を用いると、以下のように算出される。

表 1-16 Bhimtal 湖の水収支計算結果

降雨量	2,240 万 m <sup>3</sup>
年流入量	900 万 m <sup>3</sup>
雨期	640 万 m <sup>3</sup>
地表流	420 万 m <sup>3</sup>
地下湧水	220 万 m <sup>3</sup>
乾期	260 万 m <sup>3</sup>
地表流	50 万 m <sup>3</sup>
地下湧水	210 万 m <sup>3</sup>
年蒸発量	1340 万 m <sup>3</sup>

出典:JICA 調査団作成



出典:JICA 調査団作成

図 1-61 Bhimtal 湖の表層水及び底層水の容量割合イメージ

回転率は、雨期の 5 ヶ月間で 1.8 回、乾期の 7 ヶ月間で 0.7 回となり、年回転率

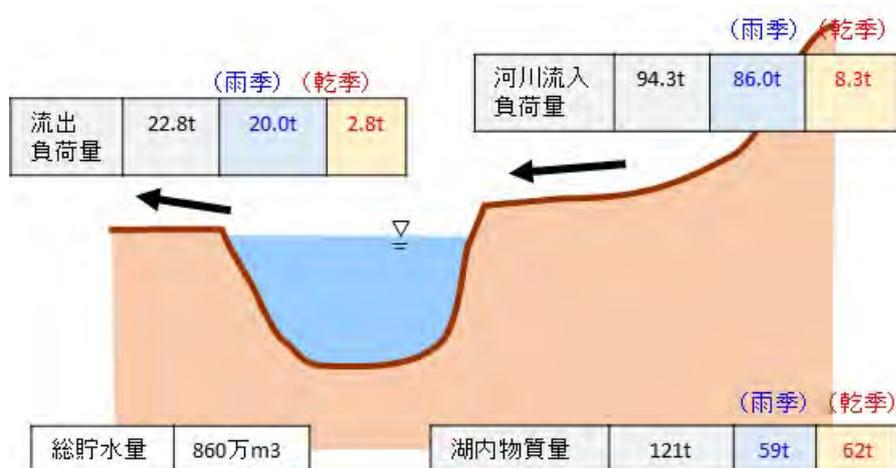
は 2.5 回となる。雨期は流量が多く、かつ水温躍層が形成されているため、河川からの流入により主に表層水のみが交換されやすくなる。

(7) 物質収支

a BOD

(a) Nainital 湖

調査時の濃度が、雨期・乾期での平均的な湖の濃度であり、表層・低層水での鉛直分布の平均的な値であると仮定した場合の、Nainital 湖内の BOD の物質収支は次のとおりとなる。

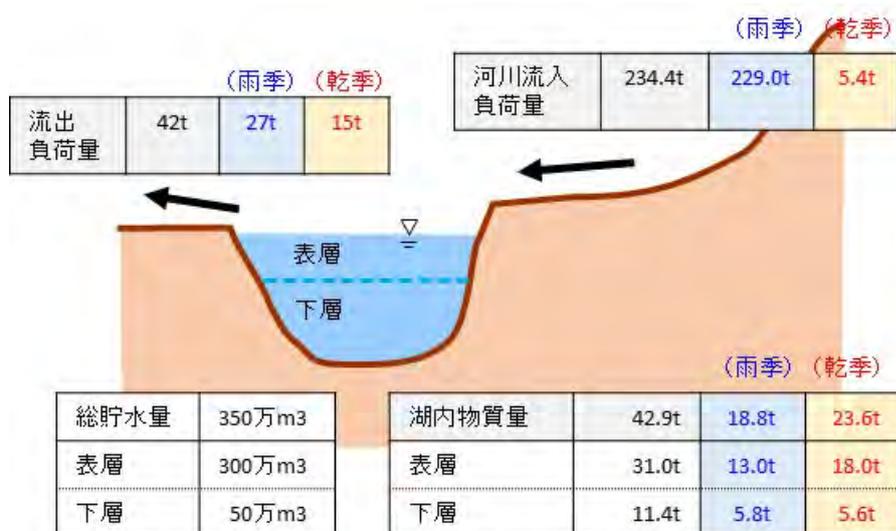


出典: JICA 調査団作成

図 1-62 Nainital 湖の BOD 収支

(b) Bhimtal 湖

上記同様の仮定での Bhimtal 湖内の BOD の物質収支は次のとおりとなる。



出典: JICA 調査団作成

図 1-63 Bhimtal 湖の BOD 収支

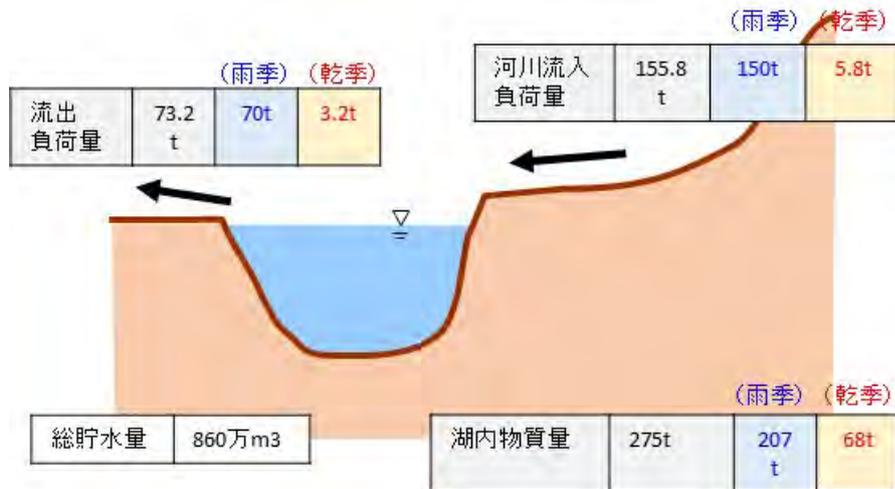
雨期は河川からの流入負荷量が湖内物質に比べて多く、河川流入負荷量が湖内物質・濃度の決定要因となっている。

なお、BODは植物プランクトンの光合成による内部生産によっても増加する点にも留意が必要である。

b 全窒素

(a) Nainital 湖

Nainital 湖内の全窒素の物質収支は以下のとおりとなる。

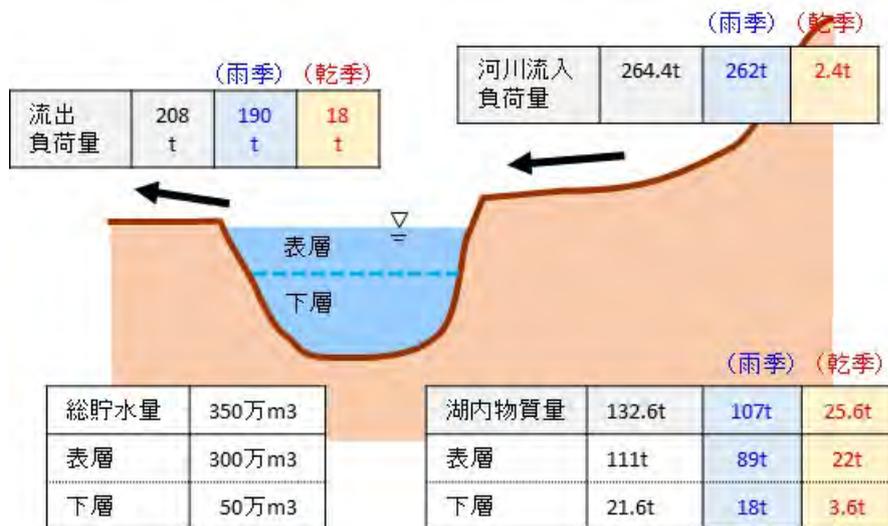


出典:JICA 調査団作成

図 1-64 Nainital 湖の T-N 収支

(b) Bhimtal 湖

Bhimtal 湖内の全窒素の物質収支は以下のとおりとなる。



出典:JICA 調査団作成

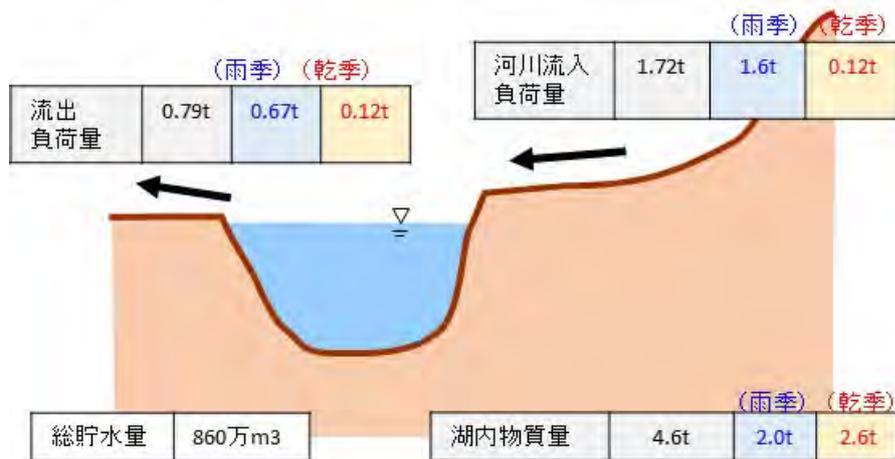
図 1-65 Bhimtal 湖の T-N 収支

BOD 同様に、雨期は河川からの流入負荷量が湖内物質質量に比べて多く、河川流入負荷量が湖内物質質量・濃度の決定要因となっている。

c 全リン

(a) Nainital 湖

Nainital 湖内の全リンの物質収支は以下のとおりとなる。

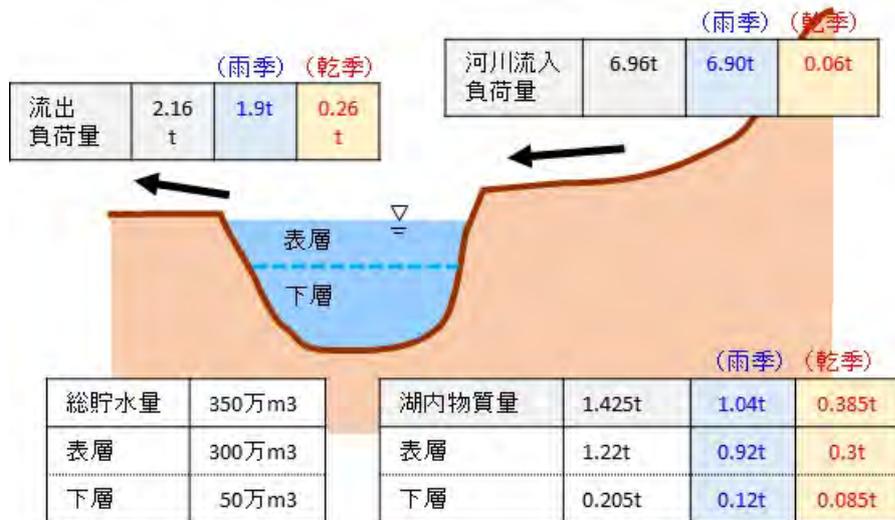


出典:JICA 調査団作成

図 1-66 Nainital 湖の T-P 収支

(b) Bhimtal 湖

Bhimtal 湖内の全リンの物質収支は以下のとおりとなる。



出典:JICA 調査団作成

図 1-67 Bhimtal 湖の T-P 収支

BOD や全窒素同様に、雨期は河川からの流入負荷量が湖内物質質量に比べて多く、河川流入負荷量が湖内物質質量・濃度の決定要因となっている。

(3) 調査対象湖の課題

ア 極端な富栄養化状態の改善

湖沼はインドにとって貴重な水資源である一方で、水質悪化によって十分に機能を果たしていない。ダム湖等の湖沼は、降雨による表流水を時間的かつ地理的に広い範囲で貯留する点において、水資源の偏在性を解消し、地域の開発、発展に大きく貢献する役割を担う。従って、湖沼の水質悪化、すなわち有効活用できない湖沼水量の増加は、イ

ンドが直面する大きな問題の一つといえる。中でも、湖沼の直接的な水質の改善は、喫緊の課題と考えられる。

水質浄化対策には、発生源となる生活・工業排水の処理や農業・養殖漁業・畜産業における汚染源抑制、流入河川の浄化対策など、湖沼周辺域の対策も重要であるが、これらは実施から効果発現までに多大な時間と費用を要する。また、水質悪化の現象をみても、流速の大きな河川と比べ、湖沼はその閉鎖域での貯留機能ゆえに、水中の物理・生物・化学反応がより早く進行するため、水質変化の影響が大きい。日本でも近年、排水規制や処理等が強化されてきたものの、湖沼の水質改善効果は大きくないため、湖沼の水そのものの直接的浄化技術の適用が多くなってきている。

両湖とともに、2001年に環境森林省国家河川保全局が策定した「国家湖沼保全計画」および第11次5カ年計画（2007～2011年）に基づいて指定された全国62の水質改善事業対象湖沼に選定されており、インド国側の関心と注目度が高い。Nainital湖には約9億円、Bhimtal湖を含む周辺4湖には約3億円の水質改善対策事業が、中央および州の両政府の事業費分担（割合7:3）で実施されてきた。

しかし、都市化の進行に対して下水道整備や維持管理が行き届いておらず、生活雑排水や下水が湖に直接流入しており、極端な富栄養化状態の水質となっている。特に、曝気装置も導入されていないBhimtal湖の水質状態は極めて劣悪で、上流部では貧酸素由来のアオコも発生しているが、最大の問題は、底層の大部分を占める貧酸素塊であり、これにより、窒素やリン等の栄養塩や、鉄・マンガンなどの金属イオンも底泥から溶出していると考えられる。

Nainital湖では、ADSによる曝気装置の効果で水質改善効果が確認できるが、これは気泡の上昇による水塊の循環により底層と表層の混合が進み、汚濁の程度が平準化されるためとも考えられる。流入河川の汚濁負荷量の軽減には、下水道施設の整備が必要であり、これには時間と費用を要することから、短期的な水質改善を図るためには、底層からの汚濁物質の溶出量を削減する必要がある。

#### イ 低コストな水質改善対策の実施

これまで対象湖で実施されてきた湖内の直接的な浄化対策は、Nainital湖ではADS、Bhimtal湖では浚渫であり、その他両湖ともに、放流された魚類によるリンや窒素の栄養塩の捕食作用を促進するバイオマニピュレーションが導入されている。これらの対策費は、両湖が国家湖沼保全計画に基づいて中央政府により水質改善事業対象湖に指定されたことで中央政府及び州政府の分担で充当された事業費で賄われた。水質改善事業は、湖内対策だけでなく下水道施設整備などの流入対策や水質モニタリングも含み、その額はNainital湖に対して約9億円、Bhimtal湖を含む周辺3湖に対して約3億円であった。これらの事業は、州政府の上下水道局や灌漑局、ナイニタール市など、対策内容に応じた政府機関が実施することになるため、国家湖沼保全計画に定められたとおり、事業の調整・管理を担う機関としてUttarakhand州政府都市開発局傘下の機関であるナイニタール湖特別地域開発局（Nainital Lake Region Special Area Development Authority : NLRSA）が設置された。

2009年にこの事業費が消化されて以降、ADSの年間維持管理費はNLRSAが捻出

してきた。しかし、NLRSAは本来的には都市開発を担う機関で、その活動予算は主に湖周辺エリアの開発税や土地開発転用収益から賄われている。そのためNLRSAの予算状況は厳しく、政府からの水質対策事業費が消化されると、NLRSAはADSの維持管理費は湖を直接的に利用している州政府の他の機関や観光レジャー業者から利用税を徴収しているNainital市などが負担すべきとして、州政府と協議してきた。一方で、それまで実施してきたBhimtal湖の浚渫やNainital湖の水質モニタリングを止め、ADSのみについて、湖の利用とは直接関係ない都市開発関連の税收からその維持管理費を充当してきた。ADSの年間維持管理費は、電気代や管理委託費を含め約800万円である。州政府との協議の結果、2015年からは州政府がADSの維持管理費を予算化することとなっている。

ADS導入前のNainital湖では、頻繁なアオコの発生や魚類のへい死、アンモニア臭といった容易に知覚される水質悪化の現象が確認されており、両湖ともに地域の経済を支え、また文化的な意義も大きな観光資源であることから、継続的な対策の実施が必要である。従って、少なくともADSの維持管理費を下回る低コストな対策が求められる。

### 1-3 対象国・地域の対象分野における開発計画、関連計画、政策及び法制度

#### 1-3-1 第12次五カ年計画（2012～2016年）

国家レベルの計画は、憲法によって「五カ年計画」で規定されることになっている。経済、財政、金融、雇用、教育、社会保障、環境、産業、農業、交通、都市開発、エネルギーなどの分野について今後の戦略的目標やその達成に向けたプロジェクトを示すもので、現在は2017年を目標年次とする第12次五カ年計画が示されている。

インド政府は、2000年代以降、河川や湖沼といった表流水の浄化対策に予算を充当してきた。河川浄化対策には、第10次五カ年計画（2002 - 2007年）から第12次五カ年計画（2012 - 2017年）にかけての15年間で約1,019億円、湖沼保全対策には第12次五カ年計画において約172億円を投入してきた。湖沼保全対策事業の内容は、曝気等の物理的水質浄化や汚濁物質の生物処理、湖岸法面保護工、浚渫等の湖内対策、土壌処理や植生浄化等の流入河川対策、植林や排水処理等の流域対策などである。

#### 1-3-2 国家湖沼保全計画（National Lake Conservation Plan）

中央政府レベルで湖沼保全を管轄する森林環境気候変動省の国家河川保全局（National River Conservation Directorate：NRCD）が2008年に策定した計画である。NRCDではそれまで、湖沼と湿地を分け、それぞれの保全計画を策定していたが、重複を避け効率的な予算執行を図るため、2013年に、国家湿地保全プログラム（National Wetlands Conservation Programme：NWCP）との統一を行い、国家水生生態系保全計画（National Plan for Conservation of Aquatic Eco-systems’：NPCA）として一本化された。

個別湖沼の事業の実施や対策施設の運用・維持管理など、湖沼管理は州政府の下部組織であるLake Development Authority（LDA）もしくはLake Conservation Authority（LCA）で行なうことになっている。これらの設置や組織形態は各州に任されているが、

一般的に、LDA/LCA の長は、州政府の公務員最高職位の首席次官ポストである Chief Secretary が勤める場合が多い。LDA/LCA の保全事業の管理対象と範囲は、州内の特定湖沼あるいは内全湖沼に関する事業全般だが、事業の一部は、LDA/LCA の委任によって地方自治体もしくは研究機関が担当することも可能となっている。

なお、環境に関する法律の大部分は、環境森林省と中央公害管理会議を經由して連邦政府が管理しているが、州レベルでは、中央公害管理会議が州の公害管理会議による支援を受ける形となっている。また、州の公害管理会議は、国の法律に関する順守計画の実行、州レベルの水質と大気の質に関する計画の管理、公的機関や規制対象の産業への情報提供などの活動を行っている<sup>5</sup>。

#### 1-4 対象国・地域の対象分野における ODA 事業の先行事例及び他ドナー事業の分析

##### 1-4-1 対インド国別援助計画

インドにとって日本は、2006 年の「戦略的グローバル・パートナーシップ」締結以来、両国首脳が毎年相互訪問する唯一の国である。現時点ではインドに対する国別援助方針は未策定であるが、2006 年に策定された「対インド国別援助計画」では、(1)経済成長の促進、(2)貧困・環境問題の改善、(3)人材育成・交流の拡充、の 3 点を重点目標としている。(2)の重点セクター目標の一つである「環境問題への対処」のサブセクター目標には「(e)河川・湖沼の環境保全への支援」が挙げられており、具体的には次のように明記されている。

～河川・湖沼は貴重な淡水資源であるとともに、良好な自然環境・生活環境の保全に加え生態系を維持するうえで貴重であるため、これらの環境保全に必要な協力を行う～

また、同じく(2)の重点セクター目標のもう一つは「貧困問題への対処」であり、このサブセクター目標の一つは“(d)雇用創出に資する観光開発支援”となっている。これについては、観光資源の劣化や劣悪なサービスによって観光資源の有効活用が不十分との指摘があり、「自然環境などの貴重な観光資源の保護と並行で観光開発を積極的に支援する」と記されている。

対インド国別援助計画に基づき、2007 年から毎年開催されている日印ハイレベル経済協力政策協議では、中期的観点からインドの開発政策や今後の優先案件について協議されており、日印特別戦略的グローバル・パートナーシップの更なる強化に向け、官民連携の産業インフラ基盤整備の推進も合意されている。

##### 1-4-2 JICA の対インド支援方針

JICA のインド向け支援の枠組みは、インド政府の Faster & Inclusive Growth という政策を支援するためのインフラ整備を中心とした経済成長支援、農村・貧困層を対象とした社会セクター支援、成長から来る環境への負荷を軽減するための気候変動・環境対策支援の 3 つの柱から構成されている。この枠組みにおける支援の方向性の一つに掲げられる「都市環境の保全・改善」において、“水質・水資源管理：上水道整備、流域管

---

<sup>5</sup> 「インドの環境に対する市民意識と環境関連政策」(日本貿易振興機構、2011 年)

理・河川湖沼保全”が含まれている。また、支援における留意点として、「②モデル性重視」とも言及されている。(参照: 拓殖大学国際学部 WEB マガジン 2010 年夏号 Vol.9 国際開発事業研究会報告「インド向け ODA の現状と今後の展望について」)

インドは、近年我が国にとって有償資金協力の最大の受取国(出典: 外務省 2012 年国別データブック「インド」)であり、インドにとっても日本は英国と並び主要な二国間ドナーである。外国投資の規制緩和や国内経済の自由化を積極的に進め順調な経済成長を続けるインドは、3 億人とも言われる中間層の存在によって今後の有望な投資先・市場としての潜在性を有しており、二国間関係緊密化の必要性は依然として高い。円借款を中心として展開されてきた我が国の援助は、今後も経済成長の促進、貧困削減への貢献、環境問題への対処に重点を置いて継続される見込みである。

水分野におけるインドに対するこれまでの ODA 事業は、都市給水、地方給水、水質改善、水資源開発、農村開発と幅広く実施されてきた。近年でも「日印グローバルパートナーシップ・サミット 2011」において水ビジネス分野での日印連携が提唱されるなど、インドにおける我が国 ODA の水資源関連分野は重要な位置づけである。

表 1-17 日本の対インド ODA の実績 (単位: 億円)

	円借款	無償資金協力	技術協力
2009 年	2,182.17	3.89	31.94(18.55)
2010 年	480.17	11.59	22.12(16.81)
2011 年	2,898.37	2.78	34.68(26.93)
2012 年	3,531.06	1.04	33.01(24.80)
2013 年	3,650.59	16.02	34.82
累計	44,564.19	916.43	489.60(396.86)

1. 年度の区分および金額は原則、円借款および無償資金協力は交換公文ベース、技術協力は予算年度の経費実績ベース。
2. 技術協力は 2009 年～2012 年度は日本全体の実績で( ) 内は JICA の実績および累計、2013 年度は JICA 実績のみ。

出典: 外務省 政府開発援助(ODA) 国別データブック 2013

表 1-18 近年の対インド援助案件一覧

スキーム	分野課題 内訳	案件名	期間
開発調査	水質汚濁	下水道施設設計・維持管理マニュアル策定計画調査	2009/02～2010/10
開発調査	都市給水	ゴア州上下水道強化計画	2005/02～2006/12
開発調査	水質汚濁	ガンジス河汚染対策流域管理計画調査	2003/03～2005/01
技術協力プロジェクト	農業開発	アンドラ・プラデシュ州灌漑水管理強化プロジェクト	2008/06～2010/06
技術協力プロジェクト	水質汚濁	下水道施設の維持管理に関するキャパシティ・ビルディング・プロジェクト	2007/04～2011/04
技術協力プロジェクト	水質汚濁	フセインサガール湖水環境修復管理能力強化プロジェクト	2005/09～2008/09
技術協力プロジェクト	水質汚濁	河川水質浄化対策にかかる技術移転プロジェクト	2004/10～2006/10
技術協力プロジェクト	水質汚濁	「水質管理機材整備計画」フォローアップ協力(現地調達)	2003/12～2004/03
技術協力プロジェクト	水資源開発(旧)	「地下水開発計画」フォローアップ協力	2003/10～2004/03
技術協力プロジェクト-科学技術	水質汚濁	エネルギー消費最小型下水処理技術の開発プロジェクト	2011/05～2016/05
草の根技協(パートナー型)	水質汚濁	行政主導化をめざしたインド・ウッターール・プラデシュ州における総合的砒素汚染対策実施事業	2011/03～2013/03
草の根技協(パートナー型)	水質汚濁	インド・ウッターールプラデシュ州における地下水砒素汚染の総合的対策	2008/06～2010/06

有償技術支援－附帯プロ	都市給水	ゴア州無取水対策プロジェクト	2011/01～2014/03
有償技術支援－附帯プロ(開発計画調査型)	水質汚濁	下水道施設設計・維持管理マニュアル策定計画調査型プロジェクト	2010/07～2013/03
有償資金協力	都市給水	デリー上水道改善事業	2012/11～2022/12
有償資金協力	水質汚濁	ヤムナ川流域諸都市下水等整備事業(Ⅲ)	2011/02～2018/04
有償資金協力	地方給水	グワハティ上水道整備事業	2009/03～2017/01
有償資金協力	地方給水	ホゲナカル上水道整備・フッ素症対策事業(フェーズ2)	2008/03～2013/07
有償資金協力	都市給水	ゴア州上下水道整備事業	2007
有償資金協力	地方給水	アグラ上水道整備計画	2006
有償資金協力	水源開発・都市給水	ジャイプール上水道整備計画	2004
有償資金協力	農業開発	レンガリ灌漑事業(Ⅲ)	1997/12～2012/06
有償資金協力	都市給水	ケララ州上水道整備事業	1997/08～2010/12
有償資金協力	都市給水	バンガロール上下水道整備計画(I) バンガロール上下水道整備計画(II)	1996 2005

出典:JICA ナレッジサイトを基に JICA 調査団作成

### 1-4-3 他ドナーの湖沼保全分野における援助動向

多国間援助機関では、アジア開発銀行(ADB: Asian Development Bank)が下記の湖沼の直接的な水質改善事業を実施しているが、世界銀行(WB: World Bank)などのその他の多国間援助機関や二国間ドナーによる直接的な湖沼の水質浄化事業は確認されていない。

ADBは、ウッタラーカンド州観光局をC/Pとするローン事業として、「Infrastructure Development Investment Program for Tourism」を実施中で、その分割ローンプログラムの一つとして、Nainital湖近郊に所在するNaukuchiatal湖へのADS導入事業を実施中である。Naukuchiatal湖はNLRSAが管理する4つの湖の一つであり、湖周辺の開発は、その他3つの湖と比べて大きく遅れているものの、湖底からの硫化水素が発生するという水質上の課題を抱えている湖である。当該事業は、この水質問題への対策としてNainital湖に導入されているADSと同じ製品を設置する事業で、ADSの設置及びその後10年間の装置の運用・維持管理費用をADBが捻出する計画となっている。

NLRSAへのヒアリングによると、ADBはNainital湖のADSの効果を踏まえて、Naukuchiatal湖への運用を判断したものと見られているが、その他、州内外でADBを含めADS導入プロジェクトを実施している国際援助機関は確認されていない。このことから、ADSのような湖内への直接的な酸素供給技術は、インドにおいては湖沼水質改善の最新技術として公的機関に受け入れられつつある段階と考えられる。

## 1-5 対象国・地域のビジネス環境の分析

### 1-5-1 投資環境

#### (1) 我が国の企業進出動向

インド政府は1991年の投資ガイドラインによる外国直接投資(FDI: Foreign Direct Investment)に関する規制自由化に着手して以降、規制緩和を続けてきており、現在では日本企業にとっても、投資のハードルは他の新興国や途上国と比べ法律の上では低いと言われている。インド進出本邦企業数は年々着実に増加しており、企業数は2008年

の 550 から 5 年間でほぼ倍増している。しかし、我が国の企業にとってインドは、他のアジア諸国と比べ、生産拠点というよりは消費地という位置づけの認識が強く、進出企業数は他国と比べて多くない。2011 年の「日本・インド包括的経済連携協定」締結の際は我が国企業の FDI が過去最高を記録したが、その後は軟調に推移している。

この背景には、インド政府によるインフラ整備のコミットメントの弱さが指摘されている。インドでは比較的州政府の事業執行権限が強く、大規模プロジェクトの場合でも中央政府が事業促進のために州政府に対して積極的に介入できない。また、国と州の行政手続きが煩雑であり、土地収用等も困難となることが多く、これらの要因がインフラ整備の遅れに繋がっている。このため、我が国も含む外国企業は本格的な投資に踏み出せてこなかった。

しかし、モディ政権は「Make in India」という標語のもと製造業の FDI を奨励し、過去に比べて近年は投資制度の規制緩和が進んでおり、中長期的には、今後の外国企業進出に資する投資環境整備に期待が持てると考えられる。

## (2) 外国直接投資制度

ネガティブリストに基づく自動認可方式で、以下のネガティブリストの産業以外は、外資出資比率 100%までが自動認可される仕組みである。

表 1-19 FID ネガティブリスト

規制の分類	業種
禁止されている産業	賭博
	宝くじ
	不動産業
	原子力
	煙草・葉巻またはその代用品の製造
個別に出資比率上限規制・ガイドラインがあり、要件を満たせば FDI が認められるが出資比率に上限がある分野、または政府の直接認可が必要な分野	銀行業
	ノンバンク
	保険業
	民間航空業
	空港
	通信サービス業
	石油、石油精製
	住宅・不動産業
	石炭・褐炭
	ベンチャー・キャピタル
	商業
	投資会社
	防衛機器産業
	農業(プランテーション含む)
	印刷出版業
	放送業
	薬品・医薬品
	鉱業
宅配便	
小売業	
電力取引所	

出典:JETRO HPよりJICA 調査団作成

自動認可とは、事前にインド政府の認可取得の必要がなく、インド準備銀行への事後の届出で投資が可能になる制度である。なお、上記のネガティブリスト産業以外でも、現物出資など現金以外での出資を行う場合や、LLP（有限責任事業組合：リミテッド・ライアビリティ・パートナーシップ）など会社以外の事業体への投資を行う場合は、事

前にインド政府の投資促進委員会の認可を得る必要があることに留意が必要である。

### (3) 進出形態

インドへの進出形態として、駐在員事務所、支店、プロジェクトオフィスなどの外国法人としての活動は可能である。インド企業への出資という形も、ネガティブリスト該当業種以外では 100%出資も可能だが、非公開株式会社の場合は最低 2 名以上の株主が必要とされる。

ただし、インド政府は駐在員事務所による進出に対しては消極的な姿勢を取っている点に留意が必要である。自動認可ルートでの申請の認可に 1 年以上を要す場合や認められない場合もあり、また、2011 年の財務法改正によって、全ての駐在員事務所に事業年度終了後 60 日以内の年次報告書の管轄税務局への提出が義務付けられるようになった。

(参考: 税理士法人プライスウォーターハウスクーパース「国際税務研究会「国際税務」海外進出のためのチェックポイント インド進出にあたって知っておくべき投資規制 第 1 回」2012 年 6 月)

なお、直接外国企業のインド法人および支店による不動産購入は可能だが、駐在員事務所は不可となっている。

### (4) 資金拠出形態

会社法に基づく企業形態毎の最低資本金額が設定されており、それぞれ非公開会社は 10 万 INR、公開会社は 50 万 INR である。

インド法人が日本の親会社から資金調達する場合、運転資本資金は認められず、設備投資などに限定される。つまり、機械、設備などの輸入資本財を資本金に繰り入れることが可能だが、この場合、中古機械・設備は輸入資本財として含まれない。繰り入れは FIPB の許可が必要で、かつ当該資本財の船積み後 180 日以内に申請が義務付けられている。また、海外投資家による会社の設立準備ならびに登記にかかる前払い費用（家賃も含む）を資本金に繰り入れることも可能で、これも FIPB の許可を条件に、会社登記後 180 日以内に申請する義務がある。例えば新規工場設置のケースで、当初の事業計画による投資後に追加投資する際に親会社からの資金調達が認められなくことから、10% を大きく上回る市中金利での借入となってしまうため、事前の十分な資金調達計画の立案が重要である。

### (5) 外国為替管理

1999 年の外国為替管理法に基づき、外国為替取引は当座取引と負債変動を伴う資本取引に大別される。当座取引ではインドルピーに転換可能で、外国資本のインド企業はインド法人と同等に扱われるため、外国為替管理法の適用を受けることになる。実務上はインド準備銀行が指定した市中銀行が海外送金等の審査を実施しており、具体的送金条件等は取引銀行への確認を要する。

### (6) 優遇措置

インド政府はインフラ整備の投資促進のため、道路や上下水、灌漑、廃棄物処理などのインフラ整備に対してはプロジェクト開始から 20 年間の中で連続する 10 年間の法人税非課税措置（タックス・ホリデー）、空港、港湾、内陸水路、内陸湾のインフラ開発に対しては、プロジェクト開始から 15 年間の中で連続する 10 年間の法人税非課税措置が

適用される税制優遇措置がある。

また、研究開発に対しても優遇措置があり、対象は研究開発をインド進出の主目的とし、かつ2000年3月31日以降、2007年4月1日以前に会社設立の認可を受けた企業に限るものの、インドで研究開発を行った企業は、10年間の法人税非課税措置が適用される。

## (7) 税制

### ア 実効税率

2015年度予算案による2015年度の実効税率は以下のとおりで、2014年度と比べて課税対象額が1,000万INR以上の法人に対する税率が上がる見込みだが、外国法人への税率は不変の見込みである。ただし、内国法人に対する税率は、2016年度以降4年間で30%から25%に引き下げられる予定である。

表 1-20 日本の対インド ODA の実績 (単位：億円)

課税対象所得	1 億 INR 以上	1,000 万 INR 以上 1 億 INR 以下	1,000 万 INR 以下
内国法人	34.61% (法人税率 30%+課徴金 12%+教育目的税 3%)	33.06% (法人税率 30%+課徴金 7%+教育目的税 3%)	30.90% (法人税率 30%+教育目的税 3%)
外国法人	43.26% (法人税率 40%+課徴金 5%+教育目的税 3%)	42.024% (法人税率 40%+課徴金 2%+教育目的税 3%)	41.20% (法人税率 40%+教育目的税 3%)

出典:JETRO ホームページより JICA 調査団作成

### イ 二国間租税条約

日印間で租税条約が締結されている。これを提供した場合の源泉課税率は、利子所得、ロイヤルティーおよび技術役務提供報酬はすべて10%である。

インドにおける源泉課税分は、外国税額控除の仕組みを通じて、受注企業が本国において支払う法人税から控除される。例えば、インド企業が日本企業から何らかの技術的役務の提供を受けた場合には、その支払いに際し、インド企業が10%の源泉課税をインドで納めるが、収入を得た日本企業は日本で法人税を納める際に、インドでの納税証明を提出することにより、控除限度額の範囲で控除される。

### ウ 取引にかかる税金

2005年に導入された付加価値税(VAT)は、製造業者、販売業者のいずれにも適用され、製造および販売における複数段階での付加価値が課税対象となるが、サービスの提供には課税されない。また、輸出についてはVATが免除され、輸出製品の購入や部品・原材料購入時に支払ったVATは全額還付される。

州によって、また物品に応じて異なる税率が適用され、工業設備、資本財などは4~5%、その他の物品では15%などと幅が広い。

その他、物品の販売時に顧客から徴収するVATから、仕入れ時(原材料・部品の購入含む)に支払ったVATと相殺することができる。ただし、州を超える物品販売にかかるCST(Central Sales Tax、中央売上税)については、物品の販売時に顧客から徴収したVATとの相殺は認められていない。例えば、製造業者が他州から物品・原材料を仕入れる場合に支払ったCSTは、製品出荷時に回収するVATとの間で相殺できないため、追

加コストとして計上する必要がある。なお、州を超える物品販売時に顧客から徴収される CST と物品を仕入れる際に支払った VAT との相殺は認められている。

## エ 関税

中央政府によって輸出入時に課せられる関税の仕組みは複雑で、比較的高い。品目分類は **International Harmonised System of Nomenclature (HSN)** に準拠しており、1975 年関税定率法 (**Customs Tariff Act, 1975**) に基づいて課せられる。関税は基本関税、追加（相殺）関税、教育目的税、特別追加関税の 4 つから成り立っている。

### (ア) 基本関税

輸入品目の陸揚げ時における評価額に対して賦課され、**C.I.F 価格+荷揚げ費用 (C.I.F 価格の 1%)** で評価額が計算される。

インドでは、水処理関連機器は関税対象品目から除外されているが、**WEP システム**は機械製品とみなされることから、インドへの輸入の際の輸入関税支払いの対象となる。税率は日印経済連携協定に定められており、基本関税率 **7.5%** が本体価格に対して適用される。なお、本体以外の付属品も課税対象となり、これらには基本関税率 **10.0%** が適用される。

また、インド輸入通関審査の減価償却費の基準は下記のとおりで、輸入通関税は減価償却後の価格に対して適用される。

**表 1-21 インド輸入通関審査の減価償却費の基準**

	減価償却費率
1 年目	新品価格の 16%
2 年目	期末償却残高の 12%
3 年目	期末償却残高の 10%
4 年目以降	毎年 8% (7 年目で償却)

出典: JICA 調査団作成

### (イ) 追加（相殺）関税

部品や原材料として輸入されインド国内での製造過程に組み込まれる輸入品は、国内で製造される最終製品にかかる物品税から、輸入時に支払った追加関税分を控除できる仕組みであり、そのため相殺関税 (**CVD**) と呼ばれる。追加関税率は、該当品目に対する物品税と同率で大半の製品が **12.5%** であり、評価額+基本関税額をベースに賦課される。

### (ロ) 教育目的税

インド国内の教育分野の充実を図るための特別目的税であり、税率は **BCD 額と CVD 額の合計の 3%** である。

### (ハ) 特別追加関税

特別追加関税は評価額+基本関税額+追加関税額+教育目的税をベースに **4%** を追加的に賦課している。上記の追加関税と同様、部品や原材料として輸入され、国内製造品に組み込まれる品目の場合には、支払い税額分の控除が受けられる仕組みとなっている。

## オ 国内製造にかかる税

インドにおいて、**1,000 万 INR/年**以上の金額の収入を得る製造品を生産した場合は、

物品税、付加価値税、地方税、サービス税、収入税、中央販売税などがかかることになる。ここで、物品税率は、製造品目に応じて異なっているが、WEP システムの場合は12.36%が適用される。地方税は州に応じて適用規則が異なっており、Uttarakhand 州の場合、生産品の納入場所が州内の場合は6%となるものの、一般に、この税率は消費者が支払う税金であるため、販売価格に転嫁される形となる。サービス税は、製造品の維持管理も含めた生産者の人件費に対してかかるものであり、税率は12.36%となっている。

一般に、インドの商慣習では生産者は代理店を通して販売委託を行っている。これは、これらの税金処理を代理店に委託し、生産側として支払う税金は物品税と付加価値税のみとなるため、生産者側にとって煩雑な税金処理や書類対応を避けることができるというメリットがあるためである。

## 第2章 提案企業の製品・技術の活用可能性及び海外事業展開の方針

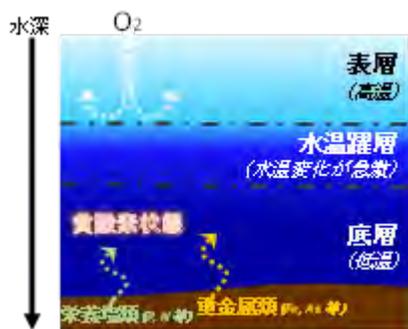
### 2-1 提案企業及び活用が見込まれる製品・技術の特徴

#### 2-1-1 業界分析

##### (1) 湖沼水環境改善の仕組みと対策の歴史

湖内対策としての水質管理には、底泥対策、植生利用、流動制御、酸素供給など様々な手段があり、これらは対象となる湖沼の規模や物理特性、周辺環境を考慮して選択される。対象とした Nainital 湖や Bhimtal 湖は、共に湛水面積が 40ha 以上と比較的大きく水深も深いという物理特性があり、窒素などの栄養塩の流入量が多い。そのため、酸素供給対策が、他の手段と比べてその水質悪化現象の抑止力と水質改善効果が高いと考えられる。溶存酸素量が少ない底層への酸素供給は、底泥溶出を食い止め、貧酸素状態を好気性に改善することで水の自浄作用も高められるため、大きな水質改善効果が期待される。

熱帯、亜熱帯気候区分における一定深度を持つダムや湖沼では、表層部と底層部との間に水温躍層と呼ばれる急激な水温変化の層が形成される。これによって表層からの酸素が底層まで届かず、底層が貧酸素状態となる。貧酸素状態の底層では、藍藻（俗称アオコ）の繁茂を促進する窒素やリン等の栄養塩や、鉄・マンガン・ヒ素などの有害重金属イオンの、底泥からの溶出現象が生じる。これらは、水の安全性の問題、浄水設備コストや処理費用の増大、富栄養化の助長など様々な問題を引き起こす。



出典: JICA 調査団作成

図 2-1 水温躍層が形成される湖沼の環境概念図

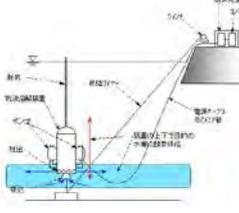
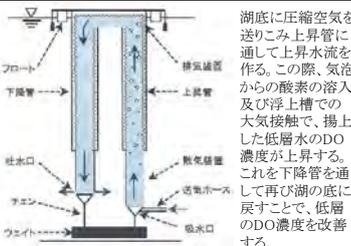
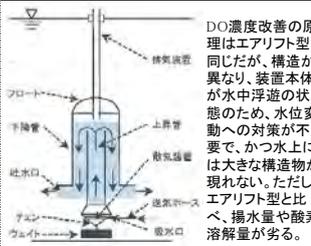
この湖底からの金属イオン等の溶出現象の抑制には、貧酸素状態を解消する、つまり底層に酸素を供給する必要がある。その対策手法として、1960 年代から先進諸国では様々な機械式攪拌や空気供給の機器が研究開発されてきた。攪拌装置は、溶存酸素量の多い表水層と混合させるものであり、エアレーションは直接気泡を湖水に送ることで水中の溶存酸素量を増やす仕組みである。

しかし、貧酸素状態にある底層には既に有害金属イオン等が滞留しており、これらの伝統的手法では、水温躍層を破壊してしまい、言わば底層に捕獲されている有害イオンを混合させることになり、逆に環境に悪影響を及ぼすことが課題であった。

そこで近年開発されてきたのが、この影響を回避しつつ、底層の貧酸素状態を解消する深層曝気方式と呼ばれる純酸素供給技術である。この方式にも様々なタイプがあるが、

湖内の散気装置から酸素水を送り出すエアリフトタイプと、湖岸の酸素発生装置と湖内の気液溶解装置の組合せで湖内に高濃度酸素水を送り出す気液溶解タイプがある。提案製品の WEP システム (Water Environmental Preservation System) はこの深層曝気方式のうち、気液溶解タイプに属す。

表 2-1 深層曝気方式のタイプ

高濃度酸素水供給 (気液溶解)	深層曝気装置	
	エアリフト型	水没式エアリフト型
 <p>低層水を気液溶解装置に揚水し、酸素発生装置を介して高濃度な酸素水を低層に直接送出する。気泡を介した酸素溶解と比べて格段に高濃度の酸素水が供給でき、移動式のため拡散範囲も広い。</p>	 <p>湖底に圧縮空気を送りこみ上昇管を通して上昇水流を作る。この際、気泡からの酸素の溶入及び浮上槽での大気接触で、揚上した低層水のDO濃度が上昇する。これを下降管を通して再び湖の底に戻すことで、低層のDO濃度を改善する。</p>	 <p>DO濃度改善の原理はエアリフト型と同じだが、構造が異なり、装置本体が水中浮遊の状態のため、水位変動への対策が不要で、かつ水上には大きな構造物が現れない。ただし、エアリフト型と比べ、揚水量や酸素溶解量が劣る。</p>

出典:JICA 調査団作成

## (2) 深層曝気方式装置の業界分析

湖沼の水質浄化は、発生源となる生活・工業排水の処理や農業・養殖漁業・畜産業における汚染源抑制や流入河川の浄化対策などの湖沼周辺域の対策と、湖沼そのものの直接的な浄化対策とに大別される。前者は実施から効果発現までに多大な時間と費用を要するが、後者は水質そのものに対する浄化効果が比較的大きい。これは、流速の大きな河川や地下水と比べて閉鎖性のある湖沼は水が滞留するために水中の物理・生物・化学反応がより早く進行し、水質変化の影響が大きいことも理由に挙げられる。日本でも近年、汚染発生源対策としての排水規制や処理対策から、湖沼の水そのものの直接的浄化対策に関心が移っている傾向にある。

エアリフトタイプの国内設置箇所は、布目ダム、余呉湖ダム、山口調整池、一庫ダム、羽地ダム、耶馬溪ダムなどであり、水没式エアリフトタイプの設置箇所は、野村ダム、日吉ダム、比奈知ダム、一庫ダム、萩形ダム、姉川ダム、千苺ダム、阿木川ダムとなっている。

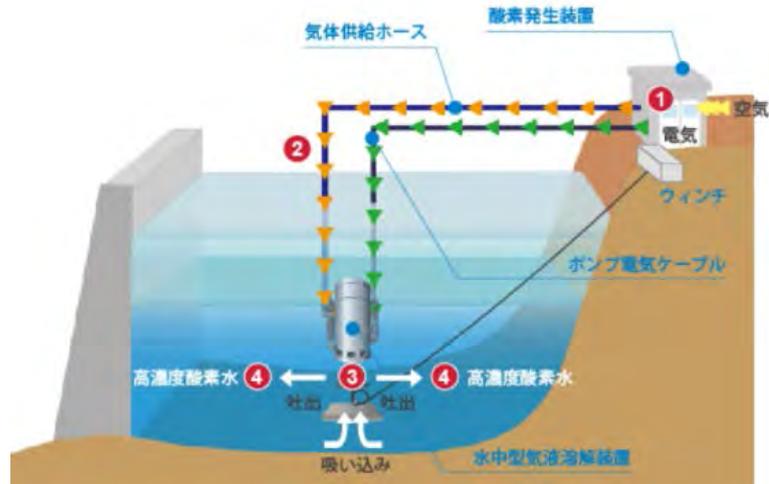
## (3) WEP システムの業界における位置づけ

WEP システムは、平成 24 年度に公益社団法人日本水環境学会より技術賞を受賞しており、湖の水質改善技術としては最先端の製品といえる。

### 2-1-2 提案製品・技術の概要

#### (1) システム構成

WEP システムは、陸上に設置する酸素発生装置と、水中で稼働する気液溶解装置、及びこれらをつなぐ気体供給ホースとポンプ電気ケーブルで構成される。



出典: 松江土建株式会社 WEP システムパンフレットより

図 2-2 WEP システム構成イメージ図

## (2) 技術的特徴

WEP システムは、底層への酸素供給技術の中でも最も効率的な製品である。WEP システムの開発設計思想は、従来型の底層曝気装置や酸素供給装置が解決できなかった、圧力差で発生する気泡の抑制、及び格段に優れる酸素供給能力にある。WEP システムは、気泡の発生を抑制しつつ大量の酸素を供給するという課題を解決した最先端技術の製品で、松江土建株式会社と独立行政法人土木研究所で共同開発され、2006 年に日本で特許を取得し、その他、独立行政法人土木研究所との共同で、中国、米国、ドイツでも特許を取得している。

深層曝気方式の類似製品との比較も踏まえた、本製品の特長は以下のとおりである。

### ① 酸素溶解水が高濃度

吐出水の酸素濃度は 40～60mg/L であり、類似製品と比べて約 5～8 倍の能力を持つ。

### ② 広範囲に及ぶ酸素供給エリア

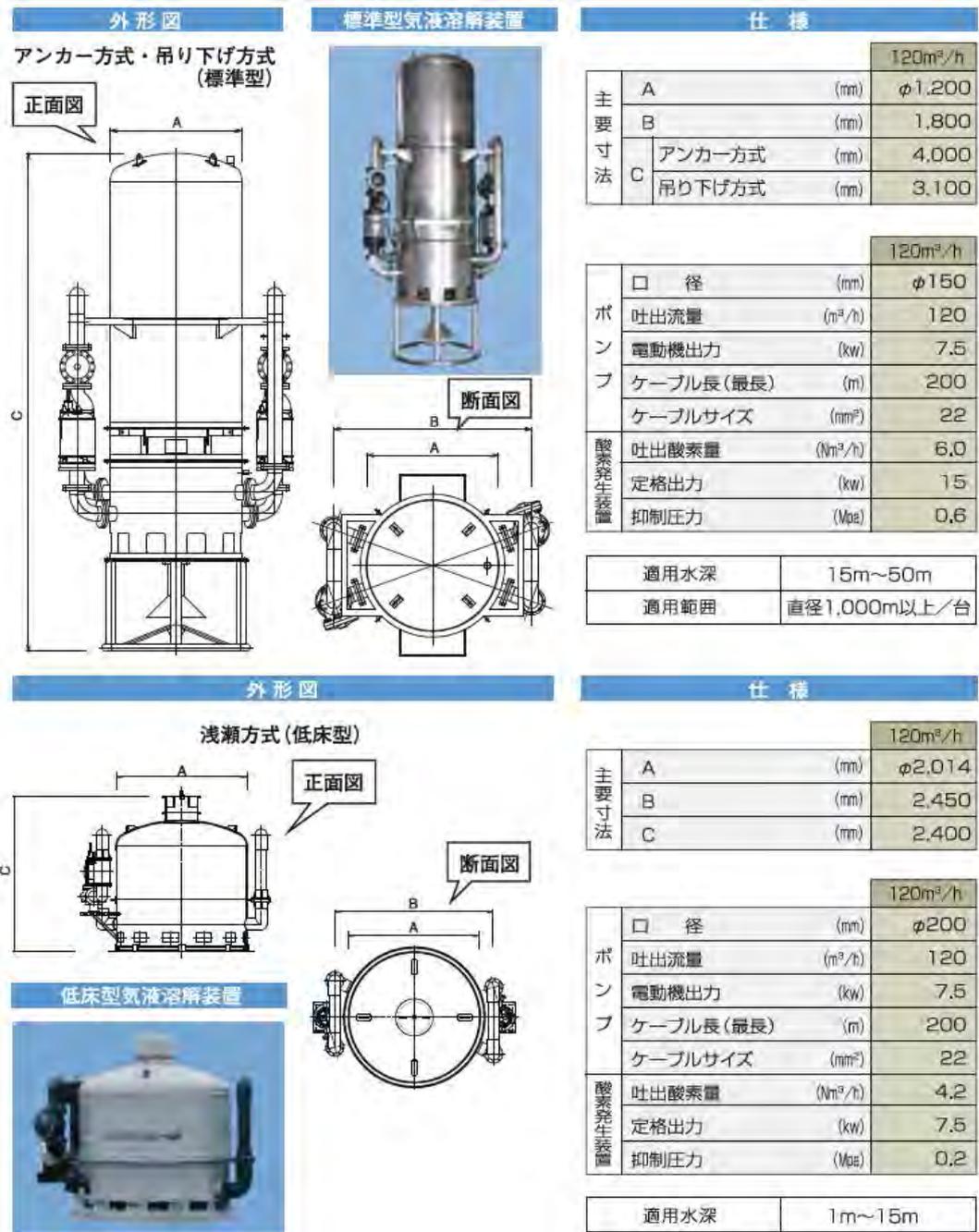
溶解装置から送り出される高濃度酸素水は、吐出口での周囲の湖水と同じ水圧となり、かつ無気泡で供給されることから、水中の成層構造が維持されるため、高濃度の溶存酸素水が半径 500m 以上に行き渡り、更に底層に長期間滞留する。また、気液溶解装置は上下移動が可能であり、その効果を鉛直方向にも及ぼせることができる。

### ③ 容易な運転管理

酸素発生装置が陸上に設置されるため、運転管理が容易で、DO（溶存酸素量）や水温に応じた自動制御も可能である。

## (3) 製品のスペック

WEP システムは、酸素吐出量の異なる 2 タイプ (120m<sup>3</sup>/h, 80m<sup>3</sup>/h) がある。120m<sup>3</sup>/h の製品仕様は次のとおりである。



出典: 松江土建株式会社 WEP システムパンフレットより

図 2-3 WEP システム (120m<sup>3</sup>/h) 仕様

#### (4) 製品の価格

WEP システム 1 基の日本国内販売価額は次のとおりで、特許を有する主要装置の溶解装置が全体の約 7 割を占めるが、それ以外の部材、半製品は現地調達も可能な汎用品である。

表 2-2 WEP システムの参考販売価格

装置規模		120m <sup>3</sup> / h	80m <sup>3</sup> / h
主要設備	溶解装置	4,930 万円	4,250 万円
	酸素供給装置	1,400 万円	1,080 万円
付属設備	ウインチ・建屋	1,270 万円	1,270 万円
計		7,600 万円	6,600 万円

出典:JICA 調査団作成

(5) 国内外の販売実績

国内での受注実績は、次表のとおりダム管理者に対する合計 5 台である。この他、試験導入として、島根県大田市三瓶ダム（島根県）、千葉港（国土交通省関東地方整備局千葉港湾事務所）、お台場海浜公園（東京都港湾局）がある。

表 2-3 WEP システムの国内販売実績

名称	場所	導入年	事業者	備考
島地川ダム	山口県	H21 年度	国土交通省	120m <sup>3</sup> / h×1 台
布部ダム	島根県	H21 年度	島根県	120m <sup>3</sup> / h×1 台
灰塚ダム	広島県	H22 年度	国土交通省	120m <sup>3</sup> / h×1 台、80m <sup>3</sup> / h×1 台
鹿野川ダム	愛媛県	H25 年度	国土交通省	80m <sup>3</sup> / h×1 台

出典:JICA 調査団作成

海外では、中国で 1 件の実績を有する。中国江蘇省宜興市の龍珠ダムへの導入のため、平成 25 年に環境関連企業フィリップ社と売買契約したものである。

2-1-3 国内外の同業他社、類似製品及び技術の概況及び比較優位性

(1) 類似製品との比較

水温躍層を破壊しない底層への酸素供給装置の類似製品には、深層曝気装置が挙げられる。それらとの比較は以下のとおりで、WEP システムのような気液溶解による酸素供給方式は、費用面でやや劣るものの効率面で絶対的な優位性がある。

表 2-4 WEP システムの類似製品との比較一覧

	高濃度酸素水供給（気液溶解）	深層曝気装置（エアフ外型）	深層曝気装置（水没式エアフ外型）
初期費（製作・据付）	0.80 億円 / 基	1.46 億円 / 基	0.72 億円 / 基
維持費（点検補修整備）	0.54 億円 / 15 年	1.15 億円 / 15 年	0.21 億円 / 15 年
吐出酸素濃度	40～60mg/L	8mg/L	8mg/L
水位変動への対応能力	対策不要（溶解装置昇降可）	固定式のため対応不可	対策不要
酸素溶解効率	90% 程度	10～50%	50% 程度

配色基準：      優秀      次善      不良

出典:JICA 調査団作成

(2) インド国内の水質改善対策製品

インド国内では、調査実施段階では酸素供給装置や深層曝気装置の類似製品の導入事例は確認されておらず、次のような小規模メーカーによるエアレーション装置が導入されている。

## Akar Impex Private Limited

1986年創業のノイダ拠点の排水処理システムメーカー。Indo Phyto Chemicals (ニューデリー拠点の化学企業、ウッタラーカンド州の工場に導入)、Naraina Hospital (ラジャスタン州の私立病院)、Jindal Power Corporation (ジャールカンド州の電力公社) などに導入実績がある。

以下に示す湖用の曝気装置の価格は約 165,000INR (約 274,000 円) である。



出典: <http://www.akarimpex.com/>

## Energy Equipment

2007年創業のチェンナイの企業で、膜製品や曝気システムの製造、販売を行う。納入先には、石油化学を中心としたインド最大のコングロマリット Reliance Industries、家庭用品製造販売会社大手の Hindustan Unilever、国家重要機関である乳製品組合の National Dairy Development Board などに導入実績があるが、製品の価格は不明である。

## Supernova Technologies

ムンバイに本社、グジャラート州に工場を構える環境機器メーカーで、2011年にはグジャラート州の Sardar Patel 大学と提携し、太陽光を用いた曝気装置を同州内 Gotri 湖に試験設置した。DO 値の低下による魚のへい死や異臭の減少が報告されている。同システムの価格は 80,000INR (約 132,880 円) である。



Table 41: Specifications of a solar aerator developed for a pilot

Parameter	Specification
Cost	INR 80,000
Indicative pond size	2 acre
Solar panels	300 Watt
Battery	12V, 150 Ah
Inverter	12V, 800VA
Pump capacity	1/3 HP
Daily hours of use	3 hours

Source: Supernova Technologies

出典: <http://www.supernovawindsolar.com/index.php?id=1>

### (3) インド以外の類似製品・技術

日本を含め、インド国外には酸素供給装置や深層曝気装置の類似製品が多数存在し、日本国内でもダム湖を中心に導入が進められている。

日本では、生活環境の保全に関する環境基準として 1984 年に湖沼水質保全特別措置法が制定されたが、30 年以上が経過して湖沼の周辺環境も変化する中、全国のいくつかの湖沼では水質の悪化が進んでいると報告されている一方で、規定の環境基準項目の達成状況だけでは水環境の現状が把握しにくくなっている。このような背景から、新たな基準項目として湖沼の底層の DO 値が新たに設定される見込みである。酸素供給装置や深層曝気装置は、低層 DO 値の改善への直接的な効果発現が見込めることから、今後我が国では類似製品の開発や導入が促進されると見込まれる。

形式別の酸素供給装置の類似製品や、藻類対策関連製品は添付資料に示す。

## 2-2 提案企業の事業展開における海外進出の位置づけ

### 2-2-1 国内市場の現状

WEP システムの開発に要した期間は約 8 年に及ぶ。松江土建株式会社は昭和 19 年の創業以来、業績の大部分を土木建設業に負ってきたが、ラムサール条約登録湿地の生態系豊かな宍道湖での魚類大量へい死を契機に、地元企業としての使命感から 2000 年に環境部を立ち上げた。松江土建株式会社は WEP システムを 2008 年に製品化し、日本国内へ向けて販売を開始してきたが、2014 年までのダムへの実導入実績は 4 ヶ所で、国内市場への拡販はこれからといった段階である。

先進技術の導入に際しての最大の障害は、実績が少ないことによるリスクへの懸念である。ダム湖などの公共財への実装の場合、下流域への影響も大きく、飲料水源として利用されている場合は特に、その効果や水質に及ぼす様々な影響の正確な把握が求められる。しかしながら、湖沼環境は個別に大きく異なり、湖内の物理特性や水質の化学的性質が非常に複雑であることから、WEP システムのような装置の効果の実証は実際の湖沼でしか明らかにできない。そのため、実績の少なさによるその効果や影響の不確実性から、導入が見送られる場合もあり、国内市場への参入がなかなか進まない要因の一つとなっている。

### 2-2-2 これまでの海外進出の経緯

WEP システムはもともと海外展開を見越して開発した製品ではないが、国内への普及のための海外での実績獲得だけでなく、「国内外にこだわらない技術による社会貢献」という企業倫理にもよって、海外進出に積極的に乗り出した。現在では、国内市場に限らず、人口増加に伴って良質な水資源確保の需要増加が確実視される途上国での市場性も睨んでおり、販路展開の方針の一環として「第三国への販路展開」と社内中期経営計画に定めている。

海外実績獲得の端緒となったのは、製品開発段階から販売段階に移った時点で国内市場における共同販売契約を結んだ商社からの中国での販売展開の打診であり、2013 年に

は中華人民共和国への販売に至った。現地のビジネスパートナーと販売契約を締結し、中国国内での販路拡大に向けても現在も活動中である。

インドに関しては、山陰インド協会の活動が発端となった。山陰インド協会とは、インド哲学、比較思想学の世界的権威で松江名誉市民の故中村元博士の偉業を契機に 2013 年 1 月に発足した、日印の経済文化交流推進組織で、山陰両県知事や国会議員、自治体首長、在日インド商工協会理事長などを顧問に、地元企業や経済関係者らがメンバーとなっており、これまでに「中海・宍道湖・大山ブロック経済協議会」らと合同で複数回に亘ってインド視察を行うなど、日印経済交流の促進にも注力している。この協会の活動の一環として、2013 年 6 月に駐日インド大使が来社し、エネルギー資源研究所(TERI: The Energy and Resources Institute) の紹介を受けるなど、インドとの具体のコンタクトの端緒を得た。TERI は、1974 年に設立したインド最大財閥タタ・グループの NPO 法人格の研究所で、インド国内 6 拠点の他、インド国外にも 5 事務所(日本、マレーシア、アラブ首長国連邦、英国、米国)、1 研究拠点(エチオピア)を持つ、エネルギー・環境分野等に関するインドの代表的研究機関である。また、TERI 以外にも INJACK(日印商工会議所ケララ支所)、ケララ州政府等の協力を得て、湖沼に関する地理的要因、水質、汚染状況等の情報収集を行ってきた。このきっかけを活かし、最終目標としてインド国内への WEP システムの本格導入を目指す。

松江土建株式会社の環境部門における経営戦略は、十分な研究開発と実績づくりへの投資によって安全確実な製品・技術を獲得した上で、積極的に社会に提供していく、というものである。これは、これまでの WEP システムに関連する企業活動を通して得られた教訓に基づく。従って、本案件化調査、次年度以降の ODA 案件として想定する普及・実証事業は、インド市場への実績づくりに向けた第一歩であると同時に、継続する投資活動の一環と捉えている。

### 2-3 提案企業の海外進出による我が国地域経済への貢献

松江土建株式会社は創業以来、地域に暮らす人々との信頼関係が一番でとの考えに基づき「ふるさとの発展とより良い環境づくりに貢献する企業」を目指し、地元に着した企業として会社の事業で使用するほとんどの資材・労務は地元企業から調達している。

本提案技術(WEP システム)の構成部品の多くは地元中小企業からの調達であり、鉄工部品、電子部品、電設資材等多岐に渡る分野に対して地元経済への波及効果が見込まれる。また、本提案技術は国内の研究者の方々にも認められた、世界に先駆けた先端技術であることから、国際的な研究機関である TERI も大きな関心を寄せている。TERI の職員は、インド中央政府の水資源や水環境関連の技術委員会のメンバーの兼務者も多く、TERI との協力関係が構築できれば、インド国内の研究機関や実務機関からの注目も得られ、同時に日印の技術交流の活性化も併せて期待される。

これらのことから、本ビジネス展開の成功は、山陰地域の経済活性効果が大きい。

### 第3章 活用が見込まれる製品・技術に関する調査及び活用可能性の検討結果

#### 3-1 製品・技術の検証活動（紹介、試用など）

WEP システムは湖内に設置されるため、溶存酸素の拡散状況は見え、また、国内導入事例で得られている水質分析データの数値やグラフでは、そのインパクトの大きさが理解されにくい。そこで、湖内に設置する気液溶解装置の仕組みと溶存酸素の水中での拡散速度や範囲といった効率性への理解促進を図るため、以下の 1/200 気液溶解モデル装置を現地に持ち込み、ナイニताल湖特別地域開発局（NLRSDA : Nainital Lake Region Special Area Development Authority）およびインド・エネルギー資源研究所（TERI : The Energy and Resources Institute）に対して、WEP システムの仕組みを説明すると共に、モデル装置を使用した溶存酸素水の拡散のデモンストレーション用ビデオを放映した。



図 3-1 気液溶解装置模型

NLRSDA への紹介では、長年インド国内の湖水質改善の研究に携わってきた Kumaun 大学 P.K. Pamde 教授も出席しており、下記のコメントを得た。

- ・ 我々にとって、水温躍層を破壊せず、高濃度の DO を供給するという技術は未知である。水温躍層については、インドの当該分野の関係者なら理解しているが、水温躍層を破壊しないことの重要性は一般的には認知されていない。
- ・ 既に Nainital 湖に導入している ADS と比較した効果、費用を把握し、導入の是非を検討したい。

#### 3-2 製品・技術の現地適合性検証

上記以外に TERI からも、WEP システムのような気液溶解装置による湖の水質改善装置のインド国内導入実績は未確認との情報を得た。Nainital 湖には ADS、Pushkar 湖には簡易な散気管による曝気装置が導入されており、最近でも NLRSDA が管轄する Bhimtal 湖から約 3km 離れた Naukuchiatal 湖にもアジア開発銀行のローン事業によって ADS が設置された。これらのことから、インドにおいては DO 値改善技術としては依然として曝気対策が主流と考えられる。

上記の Kumaun 大学教授のように、研究者レベルでは水温躍層の破壊が及ぼす負の影響についての理解があるが、行政機関の実務者レベルには理解が不十分なため、水温躍層を破壊してしまう曝気対策の導入が依然として進められているとも考えられる。

そのため、気液溶解装置が湖内の水質環境にもたらす効果とその仕組みについて、実

証実験で得られるデータを通じて明らかにすることが必要である。雨期と乾期の水温や流入水量の相違などによって、湖の水質環境や物理特性は大きく変化するため、少なくとも1年以上の実証データが必要となる。

### 3-3 製品・技術のニーズの確認

#### 3-3-1 水質改善の効果

インドでは、NPCBによる湖沼モニタリング報告をはじめとし、大学の研究機関でもダムや湖沼の水質環境調査が実施されている。しかし、研究成果には採水方法や水質検査方法の詳細は記載されているが、NPCBの報告書では水質項目計測のサンプル水のサンプル数、採取箇所、水深、平均値算出計算過程などの詳細な情報の記載はなく、公開されているDOやBODなどの水質項目の単一値の信頼性は確認できない。また、湖の底層の水質状況は採水箇所のみでの局所的な状態を表すもので、今回の調査で得られた水温やDO濃度の鉛直分布図はほとんど作成されていないことから、湖内全体の水質状態は十分に把握されているとはいえない。実際、NLSADA職員は調査対象両湖のDO値の鉛直分布図を確認した際、特にBhimtal湖の貧酸素水塊の大きさが想定以上であったことと共に、ADSが導入されているNainital湖でも低層のDO値は比較的低いという実態に多少驚いた様子だった。そのため、低層の広範囲一帯に高濃度酸素水を直接供給できるWEPシステムに対する効果発現の大きな期待が寄せられた。

ただし、Nainital湖に導入したマイクロバブル方式のエアレーション装置であるADSは、水温躍層は破壊するものの、ディスク周辺数mの範囲での低層への酸素供給効果は認められる。WEPシステムと比較するとDO濃度改善の程度は大きな差があるものの、水温躍層を破壊することで表層と低層の湖水循環作用を生じることから、湖全体での数異質改善には一定の効果も認められる。そのため、ADSとの費用対効果の観点でWEPシステムの優位性を立証することが重要である。

#### 3-3-2 費用面のニーズ

ADSとの費用面での比較は以下のとおりで、消費電力の差によって維持管理費に大きな削減効果が期待できる。

表 3-1 ADSとWEPシステムのコスト比較

製品	初期費(調達・設置)	年間電気代	電気代以外の年間維持管理費
WEPシステム	約8,500万円 (関税・輸送費込み)	約52万円 (120m <sup>3</sup> /h規模を雨期5ヶ月間運用する場合)	約150万円
ADS (Nainital湖)	45,000,000INR (約7,475万円)	1,800,000~2,000,000INR (約299~332万円)	210,000INR (約350万円)

出典:JICA調査団作成

NLSADAが管理しているADSは、調達および設置費用は国家湖沼保全計画による水質改善対策事業費で賄われ、毎年の維持管理費用は、2014年まではNLSADAが、2015年からは州政府が捻出する仕組みで運用されている。NLSADAは湖周辺の整備や管理、湖水利用に関連する各機関との間の調整機関であるが、その活動予算は主に湖周辺エリアの開発税や土地開発転用収益から賄われており、2014年までのADSの維持

管理費用予算は、湖の利用とは直接関係ないこれらの税金等から充当されていた。NLASADA は、ADS は水質改善対策であるため、本来的には湖水の水源利用料を徴収する州政府灌漑局や、湖上ボート等のレクリエーション活動団体から利用料を徴収する Nainital 市が年維持管理費を負担すべきとの考えで、ADS 導入後長年に亘って州政府と協議交渉を重ねた末、ようやく昨年から州政府が年維持管理費を負担するに至った経緯がある。

従って、WEP システムは州政府に対する年間維持管理費の削減という効果が期待できる。

### 3-4 製品・技術と開発課題との整合性及び有効性

インドはこれまで、水源の水質改善を重要な開発課題として捉え、河川の水質改善や下水処理対策にも長年取り組んできており、2000 年以降に湖沼の水質改善にも本格的に取り組んできている。この背景として挙げられるのは、2050 年には需要量が年間利用可能水資源量を上回るとの見込みから、人口増加に伴う人間活動の増加と水資源量とのアンバランスの解消である。一方で、湖周辺の開発の進行や生活環境の変化に伴って、湖沼の水質は自然の浄化作用では全く対応できない程度まで悪化している。そのため、貴重な水資源であるべき湖沼が、本来の水源としての機能を発揮できなくなっている。

インドの基準では、DO と BOD が水質判断基準となっている。DO 濃度と BOD には相関関係があるといわれており、WEP システムは吐出 DO 濃度を酸素溶存限界値まで設定可能であることから、水質基準に満たないダムや湖沼への WEP システムの導入ニーズは非常に大きいと考えられる。しかしながら、BOD は湖内の生息生物や流入物質負荷量など、各湖の特性や環境に応じて異なることから、濃度削減効果の表現に留意が必要である。

なお、Nainital 湖や Bhimtal 湖は、地域の貴重な観光資源としての存在意義も大きいことから、可視化できるレベルまでの透明度の向上といった水質改善へのインド側関係者の期待も高い。しかしながら、WP システムの効果は底層の水質改善であるため、透明度の改善には直接的かつ短期的な効果を発揮できない。この点は、インド側関係者への十分な説明によって理解を得る必要がある。

## 第4章 ODA 案件化の具体的提案

### 4-1 ODA 案件概要

#### 4-1-1 想定する ODA 案件のスキーム

WEP システムは、国内設置事例と同様に、通年での水質変化確認のための実証期間が必要である。これは、地域によって異なる湖沼形状や水質、天候の特性によって通年での WEP システムの効果発現に作用するためである。インドへの WEP システム導入に向けても、特に雨期と乾期とでの流入河川の水量が大きく異なることから、1 年以上の実証を通じたデータ収集が求められる。

またこれは、インドにとって未知の新規技術導入に際しての技術根拠となる。インドでは一般に、新規技術の導入に際しては技術仕様資料と共に実績やランニングコストを含む実証データの提示が求められ、これらの資料に基づいて所管機関の技術検討委員会の承認を受けて初めて導入が認められる。

従って、1 年以上のデータ収集活動による効果とコストの測定が可能な、中小企業海外展開支援事業「普及・実証事業」を、想定する ODA 案件に設定する。

また、ビジネス展開の観点からは、Uttarakhand 州からインド全国へと導入展開を図る必要があるが、Uttarakhand 州内や他州の湖沼の管理者に対して「普及・実証事業」での導入事例をショーケースとして PR することが効果的である。WEP システムの本体部分である気液溶解装置は水中で稼働し、水質改善効果も目視確認はほぼ不可能なため、PR 方策としては水質分析データに基づく学術論文形式の資料頒布や学会等でのビデオ映像も用いたプレゼンテーションなどが有効と考えられる。

これらの学際分野での PR 活動として、水資源や湖沼環境に関連するインド中央政府の各種委員会のメンバーも兼務する職員が多く在籍する TERI の協力を得て実施していくことを想定する。他方、水質分析やモニタリングには、Uttarakhand 州のパントナガール市にあるインド最古の農業大学として全国的にも有名な G. B. Pant University of Agriculture & Technology の Anil Prakash Sharma 教授から協力を得ることを想定する。パントナガール市はナイニताल市から南方約 60km の距離と近く、また、Sharma 教授は湖沼の水質を専門として Uttarakhand 州内の湖沼の水質に関して長年研究を行っており、州の水質検討委員会にも名を連ねていることから、WEP システムの Uttarakhand 州内他の湖沼への導入展開に向けたアドバイスを得られる他、州内ステークホルダーへの PR 効果も期待できる。

「普及・実証事業」では、WEP システムの設置による実証結果を用いて、これらの州内および全国の他州を対象にした普及活動も実施できることから、WEP システムのインド全国への導入展開に向けた ODA 案件として最適と考えられる。

#### 4-1-2 対象湖の選定

##### (1) 湖の特性

調査対象 2 湖の特徴を以下に整理する。

表 4-1 調査対象 2 湖の特徴

項目	Nainital 湖	Bhimtal 湖	
特性	規模・有名性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・周辺人口約 5 万人</li> <li>・有名な避暑地・観光地の最大の観光資源(年間観光入込客数約 80 万人)でホテルも多い</li> <li>・国家湖沼保全計画に基づく改善事業対象湖</li> <li>・州を代表する Kumaun 大学による研究実績によっても国内で著名</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・周辺人口約 1~1.5 万人 (村落含む)</li> <li>・ホテルが少なく、滞在型観光地としての規模は Nainital と比べて低い</li> </ul>
	利水	<ul style="list-style-type: none"> <li>・10 年程前までは飲料用水源だったが、結石患者が多く、地下水に切り替えたため、現在は水源としては未利用</li> <li>・地下水は湖岸や流入河口付近での深井戸(取水深 30~40m)で、総取水量は 18,500m<sup>3</sup>/日</li> <li>・灌漑、発電等その他の利水は無い</li> <li>・下流も含め漁業利水も極少</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・3~4 年前までは飲料用水源だったが、腸チフス下痢患者発生により地下水に切り替え</li> <li>・ただし現在でも私立の学校に直接給水(水量は限定的)</li> <li>・地下水は湖岸浄水場の深井戸(取水深 30m)で、総取水量は 100m<sup>3</sup>/日</li> <li>・原水から硝酸が検出</li> <li>・灌漑、発電等その他の利水は無い</li> </ul>
水質	湖内浄化対策	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2007 年から曝気施設 (ADS) 稼働、湖水循環で水質が改善</li> <li>・O&amp;M 費 4,000,000INR/年、うち 5 割が電力費</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・未実施</li> </ul>
	流入負軽減対策	<ul style="list-style-type: none"> <li>・下水管整備済みで下流の下水処理場に排水</li> <li>・ただし、下水管の老朽化や山間部住民の戸外洗濯・未回収生ごみ等の影響により下水・汚水の流入負荷大</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・一部下水管が整備されているが、上流域住民の生活排水の多くは河川から湖に流入</li> </ul>
	現状の低層の水質	<ul style="list-style-type: none"> <li>・曝気効果はあるが、ADS 稼働エリアでも溶出現象の懸念(詳細は水質分析結果にて)</li> <li>・ADS 未稼働エリアでは水温躍層が形成されつつあり、無酸素水塊も大</li> <li>・流入負荷量大</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・極めて状態が悪い</li> <li>・貧酸素水塊が極めて大きく、底泥の汚染が激しい</li> <li>・流入負荷量大</li> </ul>
	表層の水質	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ADS 導入後はアオコの発生は無いが、以前は例年発生</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現地踏査にてアオコを確認</li> </ul>

出典:JICA 調査団作成

本案件化調査の結果では、Nainital 湖、Bhimtal 湖ともに深刻な富栄養化が進んでおり、早急な対策が必要な水質レベルであることが確認された。両湖の大きな相違点は、ADS システムの設置の有無であり、Nainital 湖では稼働している ADS が湖内の水循環作用を及ぼしていることが判明した。

Nainital 湖に WEP システムを設置する場合、2 つの碗形状のうちどちらか一方に設置し、もう一方は ADS を継続運用する方法が、設置台数とその影響範囲から現実的であるが、この場合、ADS による湖水循環作用が、WEP システムの単独効果計測の阻害要因となる恐れがある。

さらに、Nainital 湖では、ADS 設置以前はアオコの発生や魚のへい死が確認されていた。WEP システムは湖底の水質改善を得意とする装置であり、表層面の水質改善には有効ではない。現状の水質や気候を踏まえると、いつアオコが発生してもおかしくない状態であるが、ADS の稼働による水循環が表層の水質悪化の低減に効果が出ているものと推察される。従って、仮に WEP システムを Nainital 湖の一方のエリアに設置する場合、アオコが発生してくる可能性は拭いきれない。国内でも有数の避暑地の最大の観光資源で、目に見える表層のアオコが発生してしまえば、WEP システムの設置によって目に見えない水中がいくら水質改善されたとしても、現地に与える負の印象は相当なものとなる。

一方、Bhimtal 湖は ADS が設置されていないにもかかわらず、湖形状と下流への放流口の影響からか、一年で最も気温の高い 8 月の現地調査実施時期でも上流部のごく一部にわずかししかアオコが発生していなかったことから、WEP システム導入によるアオコ発生リスクは小さいと考えられる。

従って、WEP システムの効果が期待される湖として、Bhimtal 湖が適切と考えられる。

## (2) 導入台数

Bhimtal 湖は堤防躯体側で急激に水深が深くなる物理形状で、Nainital 湖のような湖底の高低差もないことから、高濃度酸素水のスムーズな拡散が期待できる。また、WEP システムは陸上の気液溶解装置によって吐出 DO 濃度を溶解限界まで上げることができ、湖内の生物環境による酸素消費速度によらず DO 濃度改善が可能である。

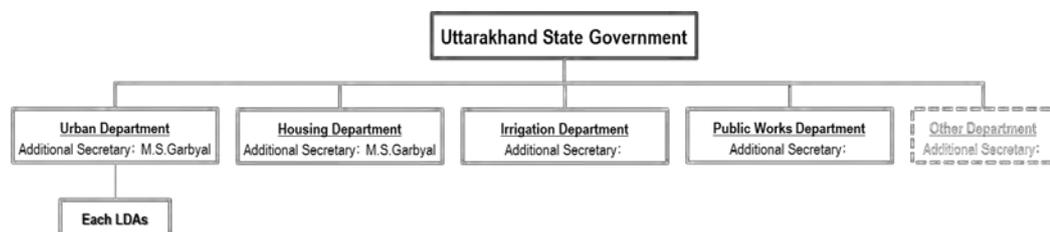
これらのことから、Bhimtal 湖に設置する WEP システムは 120m<sup>3</sup>/h 一台が適切である。

### 4-1-3 カウンターパート機関

カウンターパート機関は、Bhimtal 湖の管理管轄機関であるナイニताल湖特別地域開発局 (NLRSDA) を想定する。

ただし、NLRSDA は湖沼の統一管理機関ではあるが、実際には各種事業は他の州政府部局が実施しており、それらの事業に対する LDA の管理監督権限は無いことに留意が必要である。例えば Nainital においては、上下水道は Nainital 市の水道局傘下の Jal Sansthan、浚渫事業は同じく市の Irrigation Department、などとなっており、都市レベルに応じて事業実施機関が異なる。このようなセクショナリズムを解消するために設置されたのが NLRSDA であるが、事業予算執行権がないため、調整機関としての機能を果たしているのが現実である。

ただ、NLRSDA は州政府の都市開発局傘下の州政府機関であり、市などの行政組織と比べて強い権限を有する。従って、カウンターパート機関としては NLRSDA が妥当である。



出典:JICA 調査団作成

図 4-1 Uttarakhand 州政府組織略図

### 4-1-4 具体的な協力計画及び開発効果

#### (1) DO・BOD 濃度の改善効果

日本国内の三瓶ダムでの WEP システム運用実績に基づき、Bhimtal 湖への導入による DO・BOD 濃度の改善効果を算定した。

Bhimtal 湖が成層化する雨期の BOD 濃度は約 10mg/L であったことから、酸素消費

速度を 0.2mg/L/d と推定し、三瓶ダムの導入前の底層 BOD 濃度と導入後の DO 濃度から、Bhimtal 湖では 3 ヶ月の運用で DO 濃度が基準値以上の 7mg/L を達成できると算定される。

BOD に関しては、表層水と底層水の容量、およびバブリング試験結果で約 1 ヶ月間の運転で BOD 濃度が 6 割削減されたことから、現状の BOD 濃度が基準値以下になるまでに 10 年を要すると試算される。

表 4-2 WEP システムの Bhimtal 湖での BOD 削減量計算結果

Year		Total			BOD
		Epilimnion	Hypolimnion	BOD of after turn over	
1	before	6.20	11.60		
	after	6.20	5.80	26119000	6.15
2	before	6.15	6.15		
	after	6.15	3.08	24580779	5.79
3	before	5.79	5.79		
	after	5.79	2.90	23133147	5.45
4	before	5.45	5.45		
	after	5.45	2.72	21770771	5.13
5	before	5.1	5.1		
	after	5.1	2.56	20488629	4.83
6	before	4.8	4.83		
	after	4.8	2.41	19281996	4.54
7	before	4.5	4.54		
	after	4.5	2.27	18146425	4.27
8	before	4.3	4.27		
	after	4.3	2.14	17077731	4.02
9	before	4.02	4.02		
	after	4.02	2.01	16071975	3.79
10	before	3.79	3.79		
	after	3.79	1.89	15125451	3.56

出典: JICA 調査団作成

## (2) 一般的な開発効果

湖沼の富栄養化が及ぼす一般的な悪影響や課題には以下が挙げられる。

### 【上水道】

凝集沈殿処理の障害 懸濁物質が多くなるため、浄水処理において多量の凝集剤が必要となる。また、藻類が多いと pH が上昇し、凝集作用が阻害される。さらに、藍藻類は水中で浮上しやすく、凝集後の沈殿処理がうまくいかない場合もある。

処理設備の不具合 藻類が大量発生すると、ろ過池やスクリーンの目詰まりを引き起こす。

異臭味・色の障害 藻類には、直接放出される臭気や、死後に放線菌や細菌によって分解されて生じる臭気がある。また、鉄やマンガンは、着色作用や味への影響がある。

### 【農林水産業】

漁獲高・収益の減少 富栄養化による貧酸素化は、耐性の低い稚魚の育成阻害や産卵場の消失を引き起こす。また、湖内食物連鎖構造の変化で、商品価値の高い魚類の減少、商品価値の低い魚類の増加が生じ、漁獲収益が減少する場合がある。

農産物収穫高の減少 灌漑用水が高窒素濃度の場合、過繁茂、倒伏、登熟不良、病虫害多発が生じる場合がある。また、過去にはオーストラリア、アメリカ合衆国において牛や羊、豚、鶏などの家畜が、藍藻類が産生する毒素を摂取し死亡した例が報告されている。

### (3) Bhimtal 湖での発現効果

Bhimtal 湖は Bhimtal 村や一帯の湖群エリアの玄関口の象徴的存在として、また貴重な観光資源として地域経済を支える存在である。WEP システムは表層の水質改善効果が無いため、見た目や景観上の改善効果は期待できない。しかし、Bhimtal 湖では以前、水質悪化に伴う悪臭や魚のへい死が確認されている。水質改善事業で実施された浚渫対策や周辺居住区からの排水処理施設の整備によって状況は改善したと考えられるが、今後の人口増加に伴う開発や観光客の増加に伴い流入負荷量の増加が見込まれることから、次世代に亘る地域観光資源の保全の面での効果が期待される。

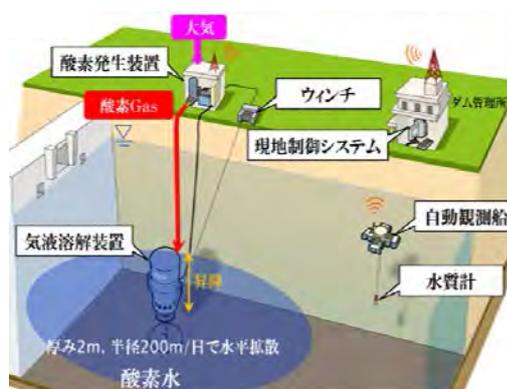
湖水の水源利用の観点では、Bhimtal 湖では以前は周辺住民の飲料水源として利用されていたが、現在では一部の周辺学校のみが湖水を直接取水して利用しているものの、水源には湖岸の浄水場内の井戸から取水している。湖水と周辺地下水との関係は解明が困難であり、取水場の井戸水源の水質分析データも入手できなかったことから、WEP システムの飲料水源の水質改善効果は定量化が困難であるが、直接取水している学校利用者やリスク対策として、更には潜在的な将来の水源利用促進に一定の効果が期待される。

また、Bhimtal 湖では行われている魚の養殖の研究施設に対する水質改善の効果も期待できる。

### (4) 協力内容

#### ア 実証実験に関する協力

WEP システムの効果を実証するため、WEP システムを下記イメージのように設置し、1 年間の稼働実験によって、溶存酸素量および栄養塩・金属イオン濃度の変化量を計測すると共に、電気代や維持管理経費等のコスト算出を行う。



出典: JICA 調査団作成

図 4-2 WEP システム設置イメージ

想定する C/P 機関の負担は以下のとおりである。

- ・ 資機材運転の許可

- ・ 資機材設置箇所の土地収用と実施期間中の無償貸与
- ・ 資機材設置時の付帯工事および運転時の実験データ収集・維持管理常駐スタッフのアサイン
- ・ 資機材運転電気代の負担
- ・ 関係情報・データの提供

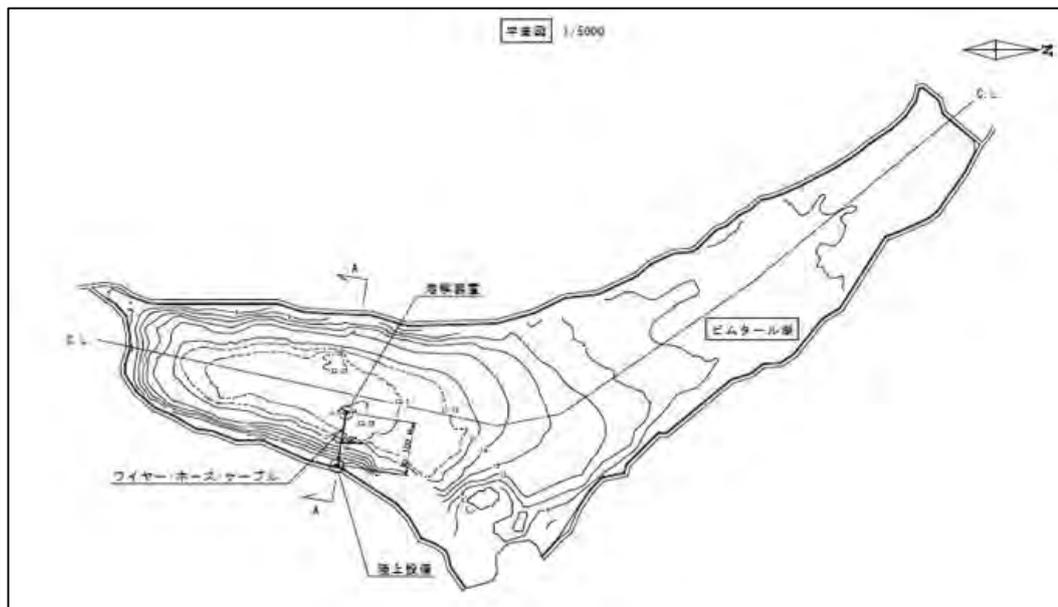
#### イ 普及面に関する協力

実証事業での水質モニタリングを、Uttarakhand 州の大学であり、インド最古の農業大学である G. B. Pant University of Agriculture & Technology への協力によって実施する。同大学の Anil Prakash Sharma 教授は、湖沼の水質を専門とし、Uttarakhand 州の水質検討委員会にも名を連ねる権威であることから、州内、インド国内への普及実証結果の PR 面での効果も期待される。

### 4-2 対象地域及びその周辺状況

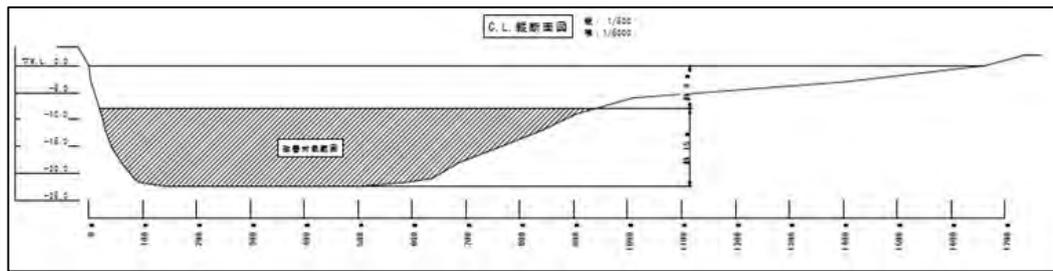
#### 4-2-1 設置箇所

WEP システムは、陸上の酸素供給設備から水中の気液溶解装置への酸素供給に気管と電源ケーブルを要し、さらに水中の気液溶解装置の上下移動のためのワイヤーで接続される。これら装置の効率低下を招かない距離は 200m であることから、Bhimtal 湖の最深部との位置関係、陸上設備の配置に関する建造物や設置・メンテナンス作業の際のスペースに関する道路状況を踏まえ、以下に示す位置への設置が最適である。



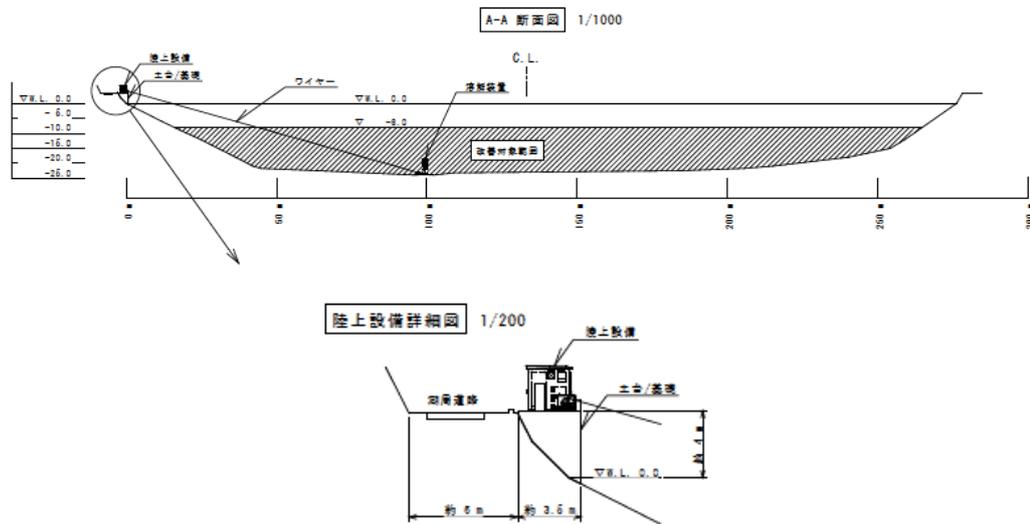
出典:JICA 調査団作成

図 4-3 WEP システム配置箇所



出典:JICA 調査団作成

図 4-4 Bhimtal 湖横断面図

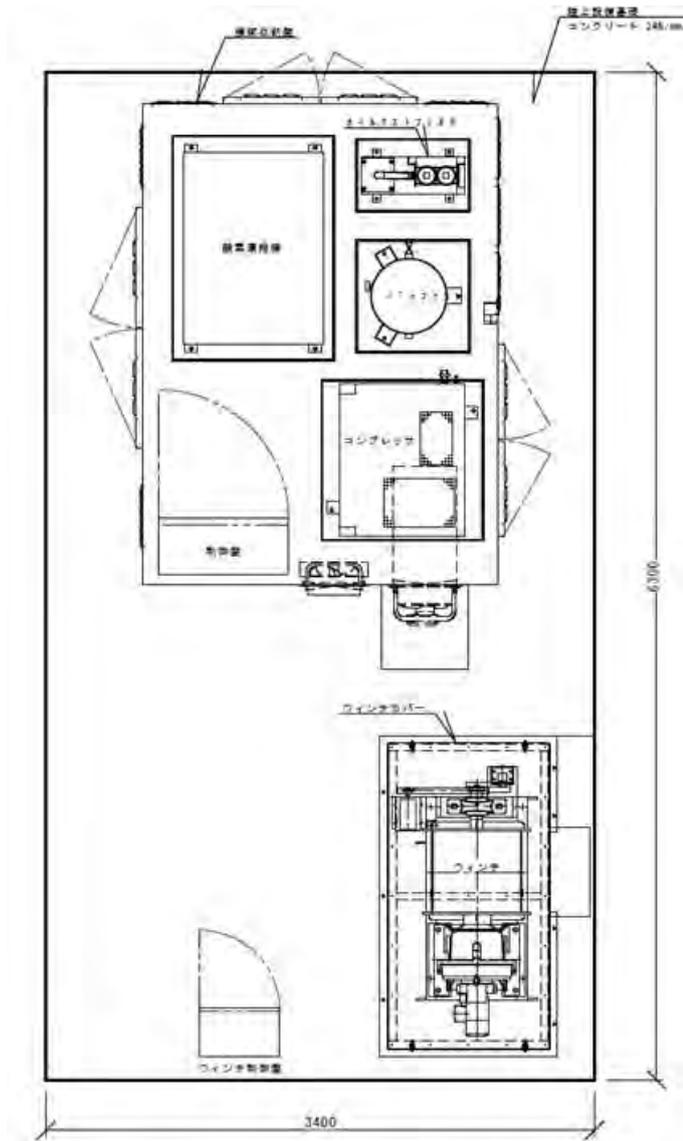


出典:JICA 調査団作成

図 4-5 WEP システム陸上施設配置箇所図

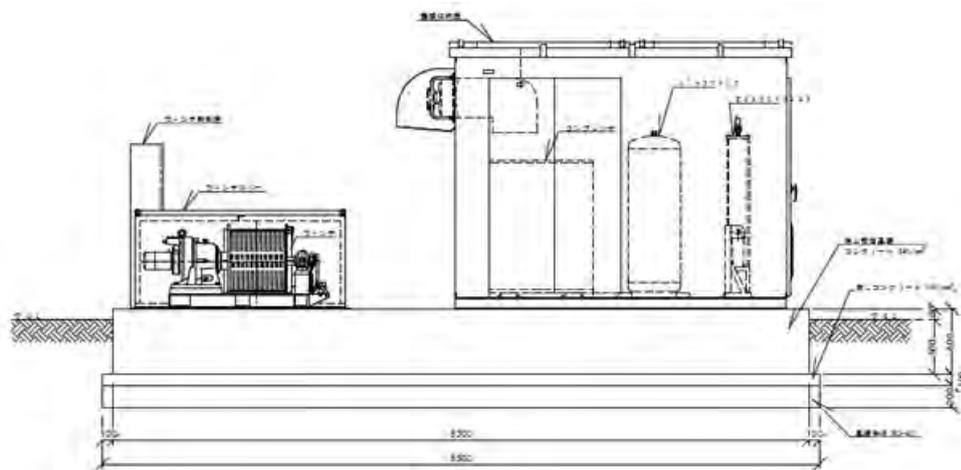
#### 4-2-2 設備配置

陸上設備は、設置時の搬入、作業スペース、運用時の機材保管やメンテナンスの際の作業スペースを考慮し、約 22 m<sup>2</sup>の用地と配置が望ましい。



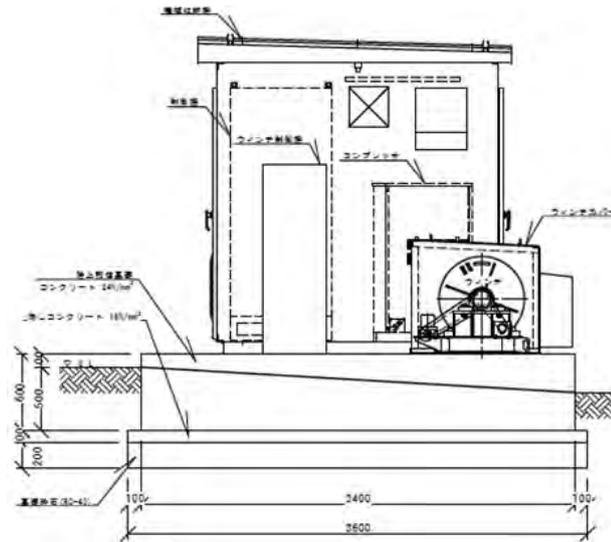
出典: JICA 調査団作成

図 4-6 WEP システム陸上施設配置平面図



出典: JICA 調査団作成

図 4-7 WEP システム陸上施設配置西側面図



出典:JICA 調査団作成

図 4-8 WEPS システム陸上施設配置北側面図

#### 4-2-3 配電施設・障害物

設置候補箇所の周辺には、道路反対側に住宅があるが、塀や植栽があるため、景観阻害の影響は少ないと考えられる。



図 4-9 WEPS システム陸上施設配置北側面図

また、設置箇所の道路幅はやや広くなっているため作業スペースが確保されるほか、搬入道路上は一部に電線架空や樹木があるものの、搬入時に一時的対応可能な程度の障害である。

#### 4-3 他 ODA 案件との連携可能性

WEPS システムは湖内対策であり、流入負荷量の増減には効果を発揮しないことから、より大きな効果発現には同時並行で流入対策を実施していくことが効果的である。Bhimtal 湖への最大の流入負荷は、家庭からの下水による窒素や BOD であるが、セプティックタンク（腐敗槽）による各家庭での下水処理が十分に機能しているとは言えない現状である。そこで、先般採択されたウツタル・プラデーシュ州を対象にした浄化槽技術の普及に関する案件化調査との連携も期待される。

#### 4-4 ODA 案件形成における課題と対応策

普及実証事業の実施に向けては、C/P 機関となる NLR SADA のみならず、事業終了後

に ADS のように維持管理費を負担する州政府との関係構築が最も重要である。湖の関係機関には州政府灌漑局や上下水道部など多様な関係者が存在する。2016年3月末に州政府はステークホルダー会議を開催し、普及実証事業及び事業終了後の WEP システムの運用に関する役割分担と調整を実施した。

#### 4-5 環境社会配慮にかかる対応

国民の約8割が信仰するヒンドゥー教では、湖は神聖な存在として崇められている。例えばヒンドゥー教三最高神の一人ブラフマーに捧げられた湖である Pushkar 湖は、祭事のフィナーレに偶像を湖に沈めるという風習が存在する。また、インドの湖は、基本的に燃油を使用するエンジンボートのような機器の使用が認められておらず、Nainital 湖に設置されている ADS などは湖開発の所轄期間である州政府の許可を得て運用されている。導入可能性対象湖の選定に際しては、住民等からの宗教的反発のリスクの有無や機器の設置導入の認可について、現地関係機関への確認が必須である。

#### 4-6 ジェンダー配慮

湖の水質改善に関するジェンダー配慮事項は想定されない。

## 第5章 ビジネス展開の具体的計画

### 5-1 市場分析結果

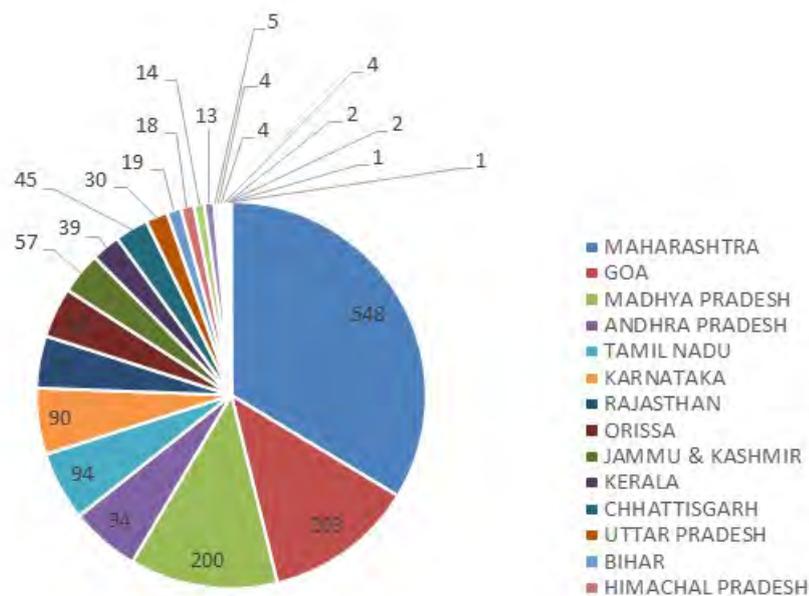
中央政府が水質改善事業の対象とした 62 湖沼のうち、深層曝気装置が適用可能な水深（10m 以上）を有する湖沼は 12 箇所存在する一方、インド全土には約 5,000 もの人工のダム湖が存在しており、中央政府の支援事業対象 62 湖沼以外の WEP システムの導入可能なダム湖は数多く存在する。

「National Register of Large Dams」によると、高低差 20m 以上の大規模ダムは全国に 1,626 存在する。

表 5-1 高低差 20m 以上のダム数

ダム所在州	高低差 20m 以上のダム数
MAHARASHTRA	548
GOA	203
MADHYA PRADESH	200
ANDHRA PRADESH	94
TAMIL NADU	94
KARNATAKA	90
RAJASTHAN	71
ORISSA	68
JAMMU & KASHMIR	57
KERALA	39
CHHATTISGARH	45
UTTAR PRADESH	30
BIHAR	19
HIMACHAL PRADESH	18
PUNJAB	14
UTTARAKHAND	13
MEGHALAYA	5
ASSAM	4
MANIPUR	4
WEST BENGAL	4
SIKKIM	2
U.T. : ANDAMAN & NICOBAR	2
ARUNACHAL PRADESH	1
TRIPURA	1
合計	1,626

出典: National Register of Large Dams を基に JICA 調査団作成



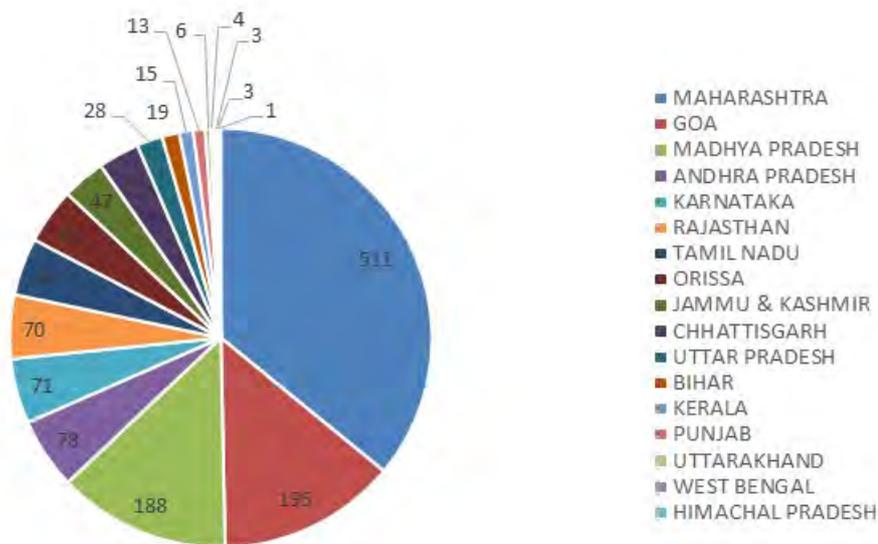
出典: JICA 調査団作成

これらのうち、ほとんどのダムが灌漑用水源としても利用されており、1,421 存在する。

表 5-2 高低差 20m 以上かつ灌漑用水源のダム数

ダム所在州	高低差 20m 以上かつ灌漑用水源のダム数
MAHARASHTRA	511
GOA	195
MADHYA PRADESH	188
ANDHRA PRADESH	78
KARNATAKA	71
RAJASTHAN	70
TAMIL NADU	63
ORISSA	61
JAMMU & KASHMIR	47
CHHATTISGARH	45
UTTAR PRADESH	28
BIHAR	19
KERALA	15
PUNJAB	13
UTTARAKHAND	6
WEST BENGAL	4
HIMACHAL PRADESH	3
MANIPUR	3
U.T. : ANDAMAN & NICOBAR	1
合計	150

出典: National Register of Large Dams を基に JICA 調査団作成



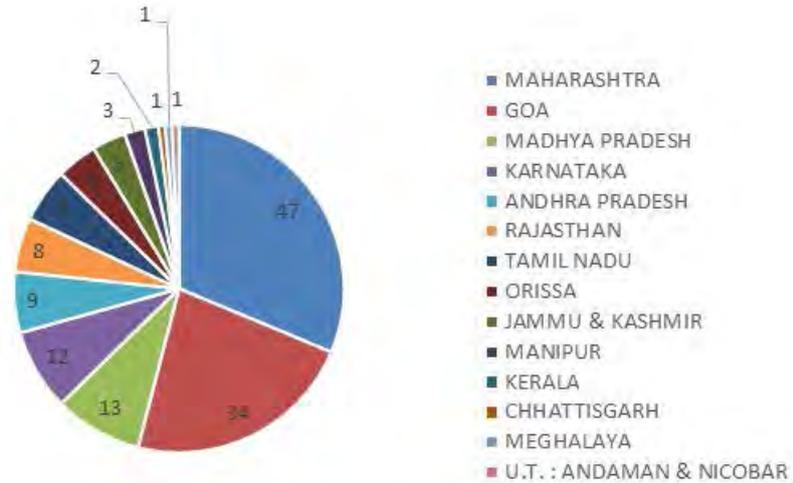
出典:JICA 調査団作成

また、飲料用水源として利用されている高低差 20m 以上のダムは全国に 150 存在する。

表 5-3 高低差 20m 以上かつ飲料水現用のダム数

ダム所在州	高低差 20m 以上のダム数
MAHARASHTRA	47
GOA	34
MADHYA PRADESH	13
KARNATAKA	12
ANDHRA PRADESH	9
RAJASTHAN	8
TAMIL NADU	8
ORISSA	6
JAMMU & KASHMIR	5
MANIPUR	3
KERALA	2
CHHATTISGARH	1
MEGHALAYA	1
U.T. : ANDAMAN & NICOBAR	1
合計	150

出典:National Register of Large Dams を基に JICA 調査団作成



出典:JICA 調査団作成

WEP システムの導入検討の指標は、水温躍層の形成の可能性が生じる最低 10m 以上の水深の他、栄養塩や金属イオンの溶出現象の存在も必要である。また、ダム建設時には十分な深度を持つダムでも、経年的に上流からの土砂が堆積し、実際に十分な深さを持つダムの数は限られてくると想定される。

一方で、表 1-3、1-4 に示したように、国家湖沼保全計画に基づいて全国 62 の湖沼で事業費約 173 億円の規模で保全対策が実施されており、ADS をはじめとする曝気装置も導入されていることから、WEP システムの導入可能性は十分に考えられる。

具体的な WEP システム導入が可能な湖については、以下の観点について今後更なる調査が必要である。

- ・ 乾期にも十分な深度を有し水温躍層が形成されていること
- ・ 栄養塩や金属イオンの溶出の抑制効果が発揮できる水質であること
- ・ ダム湖管理者が湖の貧酸素化を課題視していること
- ・ WEP システムの製品購買・予算確保の見通しが立てられること

## 5-2 想定する事業計画及び開発効果

### 5-2-1 WEP システムの現地販売ビジネスの実施体制

非公開部分につき非表示

### 5-3 事業展開におけるリスクと対応策

インドは民主主義の性格が非常に強い一方、中央政府と州政府の両者が強固な官僚構造を持つといわれている。このことは、急な法令や規制の制度変更、複雑な税制、民衆デモや従業員デモの頻繁な発生といった、一般に言われている外国企業によるインド進出時の比較的高いリスクの背景となっている。

#### 【政治面】

インドは近年、外国資本投資促進のため LLP 設置法令など、外国投資促進の政策整備を進めてきた。モディ新政権も、これまでの政策を踏襲する見込みであるが、

長期のビジネス環境の変化は見通しがつかず、外資規制など政策転換リスクも可能性がある。従って、中長期のビジネス計画検討の際には十分なリスクヘッジに留意すべきである。

#### 【法務面】

インドでは各種法令の細則が通達等で頻繁に変更されるリスクが高いため、JETRO等の活用によって最新情報の収集整理に努める必要がある。

#### 【知財面】

WEPシステムはインド国内での特許を未取得であり、インド国内での特許取得を検討する必要がある。特許の目的はインド国内の類似製品による市場競合の未然防止であり、市場展開の第一段階である公共市場への導入に際しては、競業防止効果が期待される。ただし、他の分野での類似製品に見られるように、民間市場においては特許の効果は未知数である。

#### 【社会面】

国民の約8割が信仰するヒンドゥー教では、湖は神聖な存在として崇められている。例えばヒンドゥー教三最高神の一人ブラフマーに捧げられた湖であるPushkar湖は、祭事のフィナーレに偶像を湖に沈めるという風習が存在する。また、インドの湖は、基本的に燃油を使用するエンジンボートのような機器の使用が認められておらず、Nainital湖に設置されているADSなどは湖開発の所轄期間である州政府の許可を得て運用されている。導入可能性対象湖の選定に際しては、住民等からの宗教的反発のリスクの有無や機器の設置導入の認可について、現地関係機関への確認が必須である。

#### 【事業戦略面】

WEPシステムはインドでは類を見ない技術製品だが、インドでの特許は未取得である。将来の模倣製品の出現を抑制するために、インドにおける特許の取得については、類似製品に関する特許状況や特許取得に関する経費等に留意しつつ検討を進める必要がある。

また、ビジネスパートナーとして想定する現地代理店との関係性の維持の面でもリスクが存在する。インドでのビジネス展開として、現地生産体制の確立の是非は時間をかけて検討していくものの、それまでの間の現地販売代理店へのビジネスの依存性を軽減するためには、複数のパートナー企業との関係構築によるリスク分散の他、技術面でも提携することによる一層強力なパートナーシップの形成も検討していく必要がある。

添付資料

## 酸素供給装置の類似製品・藻類対策関連製品

非公開部分につき非表示

## 英文要約

### 1. Current Situation of Issues in Target Country and Region

Lakes and ponds mean a lot for India, in terms of its functions of not only drinking or irrigation water resources but also cultural or historical values. However, a water quality improvement in the rivers and lakes is a pressing issue for India that has been experiencing a thriving economic growth, resulting in an intensification of urban activities in cities over the country, and water quality has been worsened by nitrification due to high concentration of nitrogen or phosphorous. The government of India has proactively addressed the water quality improvement through National 5-Year Development Plans since 2002 with a total of 61.3 billion INR for an improvement of river water quality by mainly sewage development, and that of 10.4 billion INR for lake conservation. The government allocated the budget to mainly sewage development and some in-lake measures such as aeration equipment or biomanipulation for the 62 lakes selected as conservation target in the National Lake Conservation Plan. This implies that there seems a certain level of understandings for an importance of in-lake measures for a water quality improvement in parallel with area-wide measures.

However, the increasing volume of water pollution in an inflow gathered from urban activities is too large to elicit a satisfactory effect from those measures. According to “Status of Water Quality in India -2012” issued by the Central Pollution Control Board under the Ministry of Environment, Forests and Climate Change, the water quality category of many designated lakes under NLCP was classified as worse than B class standard of water quality criteria, which definition is expressed as “outdoor bathing” with limits of maximum Dissolved Oxygen as 5mg/l or maximum Biochemical Oxygen Demand (5 days at 20 °C) as 5mg/l (Ref: “Tolerance and Classification” (Bureau on Indian Standards, 2010)). Given the fact that one of the requisites of designated lake selection under NLCP in 2001 was being worse than B class, it can be said to some extent that the effect of those water quality improvement measures for rivers and lakes has not yet reached to what Indian governments had expected.

India, bounded to the north by Himalayas, has relatively rich water resource with nearly 5,000 of large dams that exceeds 15m in height above deepest riverbed or 1 million m<sup>3</sup> of storage. However, the Ministry of Water Resources forecasts that the total water demand will exceed the available water by 2050. Many of large lakes in the country have recently abandoned their usage as drinking water resources due to water pollution. Therefore, the revitalization of lake function by improving water quality is one of the urgent needs for water sector in India.

The survey target lakes, Nainital Lake and Bhimtal Lake, used to function as a drinking water resource to the surrounding residents. However, it does not anymore due to a recent deterioration of water quality. Due to more than 25m depth, both lake have thermocline between upper and lower layers of lake in the rainy season with higher temperature, that causes an extreme anoxia condition in the bottom layer of the lake. In addition, many nutrients such as nitrogen and phosphorous flowing in the lake by the rivers, as well as elution of nutrients and metal ions from the bottom muds worsen the

water quality.

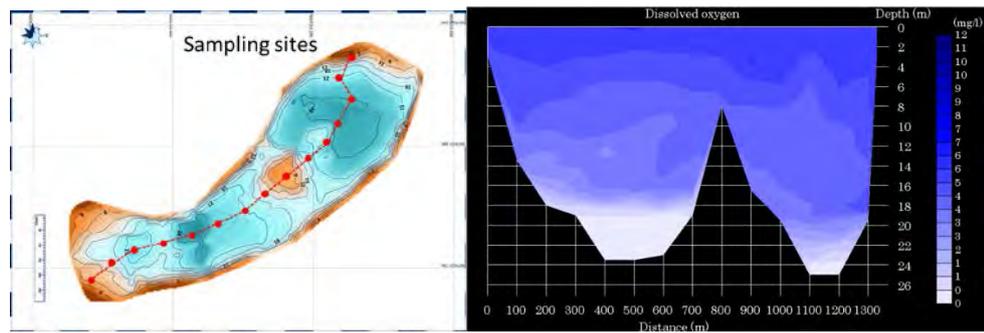


Figure 1. Physical shape and DO concentration in rainy season in Nainital lake

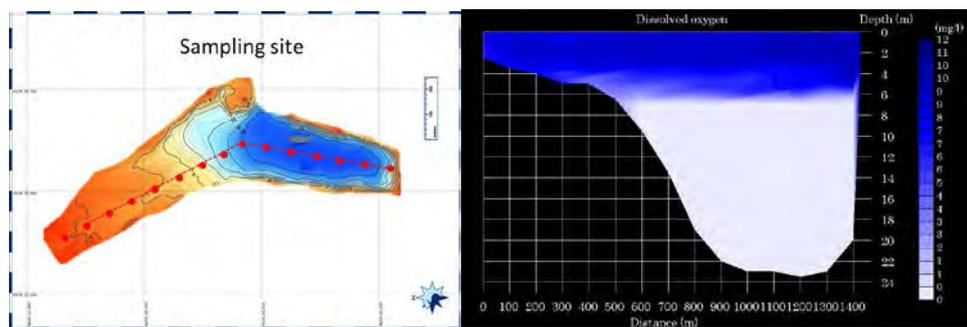


Figure 2. Physical shape and DO concentration in rainy season in Bhimtal lake

The state government of Uttarakhand has placed aeration system called Air Diffusion System (ADS) since 2007 in Nainital Lake. ADS consists of circle discs that emit micro bubbles, bringing water quality improvement effect by an increase in DO concentration and circulation of upper and lower water mass of the lake. Although, the survey found that the concentration of total nitrogen in Nainital in the rainy season reached to the similar value of inlet raw water to a common waste water treatment plant in Japan. On the other hand, in Bhimtal lake where ADS does not exist, the high concentration of dissolved iron was observed that was caused by elution from the bottom mud. ウ

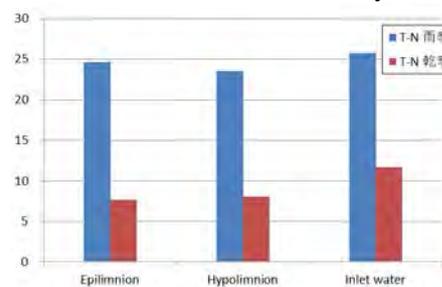


Figure 3. Concentration of total nitrogen in Nainital Lake

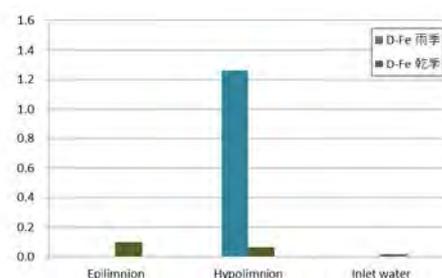


Figure 4. Concentration of dissolved iron in Bhimtal lake

It takes long time for sewage development to bring the effect of water quality improvement. There seems to be a high expectation for oxygenation technology to bring a prompt and a direct effect of water quality improvement of bottom layer of the lake.

## 2. The Result of Applicability Assessment of Technology in ODA Project

The Water Environmental Preservation System (hereinafter referred to as “WEP system”) is an underwater liquid-gas dissolving apparatus, jointly developed by Matsue Doken Co., Ltd. and Public Works Research Institute of Japan, for improving water quality of lakes and reservoirs dramatically. The features are as follows;

- 1) Extremely effective, energy efficient oxygenation method
  - Utilizing water pressure enables it to discharge 40 to 60 mg/l DO (5 to 8 times more effective compared with similar products)
- 2) Widespread diffusion of DO water
  - Range of horizontal access of high-concentrated DO water exceeds 500m
  - Generate no air bubbles, preventing a stirring up of bottom sediments and keeping water stratification
- 3) Structural simplicity for easy operation and maintenance
  - Automatic monitoring devices allows an easy operation
  - Composition of devices is as simple as the traditional aeration methods

In addition to those technical advantages, WEP system is also superior in its cost including initial and operation and maintenance.

Figure 1. Cost Comparison between WEP System and ADS

Product	Initial Cost (Purchase and Installation)	Electricity (Yearly)	Operation and Maintenance Cost excluding Electricity (Yearly)
WEP System	Approximately 50,000,000INR (Including taxes and freights)	Approximately 313,000INR (when applying 120m <sup>3</sup> /h size of WEP system for operating 5 months per year)	Approximately 60,000INR
ADS (Nainital Lake)	Approximately 45,000,000INR	1,800,000~2,000,000INR	210,000INR

In India, many small aeration equipments are installed but less oxygenation equipment similar to WEP system or ADS has been equipped. Since Indian standards evaluate the lake water quality by DO and BOD values, it is expected that Indian authorities recognize the superiority of WEP system in terms of high concentration of oxygen and its spreading ability.

It is, however, noted that WEP System does not decrease in BOD concentration efficiently. The survey team calculated it takes more than 10 years for an installation of WEP system to decrease the BOD concentration to the standard level in Bhimtal lake. Area-wide measure such as sewage development make the BOD concentration more effectively than in-lake measures such as WEP system or ADS, as the BOD comes from wastewater from human activities. It is important for an introduction of WEP system in Indian authorities to gain an understanding of such scientific features.

### 3. Contents of Proposal for ODA Project

Water environment and conditions in the lake varies individually, as physical shape of lake, water quality, temperature and so on influence on it. Therefore, as is the case in Japan, WEP system requires a test operation term to confirm the actual and detailed effect of water quality improvement numerically. On the other hand, Indian authority normally requires the submission of experimental and scientific data of effects, as well as operation and maintenance cost breakdown, when introducing a new technology. In addition, as mentioned above, a recognition for a limit of capability of WEP system is also required.

Therefore, “Verification Survey” under JICA’s proposal based program seems to be a desirable ODA project as the next step.

The target lake in the Verification Survey should be Bhimtal lake, considering the following reasons;

- Bhimtal lake has very clear thermocline in rainy season, and observes relatively many elution of nutrients and metal irons
- The assessment of water quality improvement by the WEP system is easy as there is a single inlet from the upper river into the lake
- Effects of both WEP system and ADS will be influenced each other when installed in Nainital, making the assessment of WEP system effect difficult
- The superiority of WEP system to ADS in terms of physical and monetary effects will be comparably shown to Indian authorities

The expecting effects of WEP system through the Verification Survey are as follows;

- Drastic improvement of concentration of DO at bottom layer of the lake by up to its national water quality standard
- Rapid reduction of elution of nutrients and metal irons
- Gradual reduction of BOD concentration

### 4. Business Development Plan

The expecting business scheme in the future for the WEP system is the EPC of 2 kinds of products; WEP system and oxygen dissolution device. The market of the former is a public, which manages a deep and large lake, and that of latter is a private, which is more small-scaled and business-oriented.

The promotion activities in the public market will be done in collaboration with local business partner with utilizing the results of Verification Survey. At the same time, a reduction of manufacturing cost by using locally available ready-made or general equipment.

## Feasibility Survey for revitalization of dam lake functions by a hypolimnetic oxygenator

### SMEs and Counterpart Organization

- Name of SME : MATSUE DOKEN Co., Ltd.
- Location of SME : Shimane Pref., Japan
- Survey Site • Counterpart Organization : Nainital Lake & Bhimtal Lake in Nainital District, Uttarakhand State • Nainital Lake Region Special Area Development Authority



### Concerned Development Issues

- Many of dams and lakes in India has water quality problems due to eutrophication and metallic contamination caused by recent intensification of urban activities and undeveloped sewage system
- Some of dams and lakes became unutilized for drinking water or irrigation resource because of quality problems, hence secure of adequate amount of available water resource is required in the country

### Products and Technologies of SMEs

- The WEP (Water Environmental Preservation) system is designed to provide high-density oxygenated water to the bottom layer without breaking stratified layers of water mass, in contrast to a conventional aeration system
- WEP system has comparatively high efficiency in producing high density of oxygen in the outlet water spreading widely due to no air bubble generation

### Proposed ODA Projects and Expected Impact

- The proposed ODA project is "Verification Survey with the Private Sector for Disseminating Japanese Technologies" under JICA scheme, in which 1 WEP system will be handed over to the counterpart agency at proposed lake after 1 year operation for a verification of its effects and reliability
- Expected impacts of the project are;
  - Improvement of water quality of the target lake with increasing in hypolimnetic dissolved oxygen and decreasing in densities of nutrient salts and metallic contamination less than Indian standard level , and
  - Increase in utilization volume for drinking water resource, etc.

## 面談記録

非公開部分につき非表示