

GIF 的プロジェクトの研究事例

—水資源関連プロジェクトを例として—

松田 道雄

地球上で生活する全ての生き物にとって不可欠な水、国際関係上あるいは一国内でも地域間で、水資源の公平な配分が課題となることが多い。中東和平を推進する上で、ヨルダン河やゴラン高原の地下水の水利権が課題となっている例は有名である。また、我国でも慣習的水利権の有無から、水不足の際に隣接する自治体間で水供給体制に大きな差が出る例がある。この様に、水資源の利用・開発や関連する当事者間の合意形成の成否は、時に国家間・地域間の関係の良否と密接な関係を有している。

技術・環境面から見れば、乾燥地域で過度の水資源開発を行うことは地域の脆弱な環境に多大な負荷を与え、時に取り返しのつかない失敗を招いてしまう。古代メソポタミア文明の滅亡原因の一つは、灌漑農業の規模拡大が原因で地下水位の上昇が起こったために土中の塩分が毛管現象で地上に析出して、折角開拓した農地が荒地に戻ってしまったことだと謂われている。

日本 GIF 研究財団の研究活動の中でも、水資源の活用に着目したものが多く、ここでは、3 プロジェクトを例示して、水資源の開発・利用に関する合意形成を行う上で、あるいは地域の環境を破壊することなく持続可能な開発を行うために、OR 的手法が寄与できる可能性を提起したい。

1. ヒマラヤ東部水資源開発

(a) 地域の概要¹⁾

インド亜大陸は人口爆発地域である。ネパール・インド・バングラデシュの3国の人口を合計すると約10億人にのぼる。エベレスト等ヒマラヤの高峰を北に抱くネパールは人口約2千万人の国で、インド・バング

ラデシュの2人口大国に囲まれているため、地域内では小さな存在であるが、2千万人というのは EC 加盟国ならば中位の人口規模にあたる。この地域の人口増加率は年率2.1%、即ち毎年中等の EC 加盟国1国分の人口がこの地域で増加していることになる。一方、この地域の一人当たり GDP (1993) は、インドが307ドル、バングラデシュが225ドル、ネパールが196ドルに過ぎず、世界で最も貧困問題が厳しい地域のひとつでもある。

(b) ガンジス・ブラマプトラ水系の水資源

インド亜大陸北東部を流れるガンジス・ブラマプトラ水系(図1)は、水量が豊富な水系である。この豊富な水資源を利用して、増え続ける人口が必要とする食糧やエネルギーを供給する可能性は大きい。河川の年間流量はブラマプトラ河が510km³(世界第8位)、ガンジス水系が493km³(世界第10位)にのぼる²⁾。この豊富な水量を灌漑に用いれば、広大な面積の耕地が開拓出来、増大し続ける人口に必要な食糧を供給するのに役立つ。

しかし、実際には雨期の集中的な降雨が下流のバングラデシュを中心にして洪水による甚大な被害をもたらしており、その一方で乾期には、広い範囲で干ばつに悩まされている。この様に、水資源の季節変動が大きいために、流域の住民は大自然の恩恵を受ける以前に、大自然の猛威との戦いを余儀なくされている。

また、ガンジス・ブラマプトラ河の開発可能な包蔵水力は、インド・ネパール両国合計で87,600MW と見積もられている。しかし、現在、実際に開発されているのはそのわずか2.5%に過ぎない³⁾。

(c) 流域の水資源開発を拒むもの

膨大な水量と水力エネルギーが十分に活用されずに終わっている背景には、関係諸国の財政事情や技術的

まつだ みちお (財)日本グローバル・インフラストラクチャー研究財団
〒105 港区虎ノ門5-3-20 仙石山アネックス

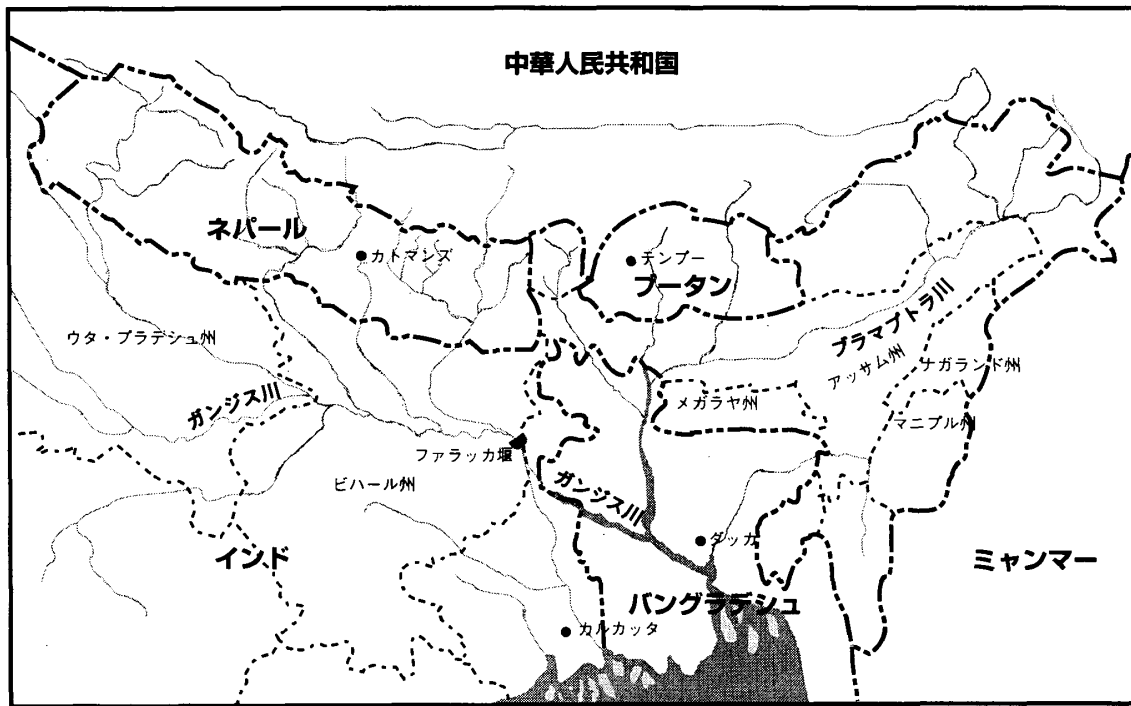


図1 ガンジス・ブラマプトラ水系

問題点等がある。同時に、宗教の違いや多年にわたる植民地時代の経験等が原因で国家間の協力が充分に行われてこなかった経緯がある。河川の利用に関しても、ガンジス河のインド・バングラデシュ国境付近にインドが建設したファラッカ堰の水利紛争に代表される様に、相互不信が根強い。これらの条件が相まって、流域の水資源を有効に活用するために各国の代表が一堂に会して討議することさえも困難な状態が長く続いてきた。

この様な状況を打開する一助として、日本 GIF 研究財団では、「ヒマラヤ東部水資源会議」を開いて非公式ながら3国の水資源関係者を一つのテーブルに集めこの地域の水資源の有効活用について討議する場を設けた。会議の席上では、相互理解の推進を図り、将来の国際的機関の創設に向けて活発な討議がなされた。

各国が協力して流域の水資源を開発することによってエネルギーや食糧事情が改善され、地域住民の経済状況が良くなることが期待される。同時に、協力を推進する過程で相互不信が解消され、この地域に新たな地平が開かれると考えられる。この観点から、流域の水資源開発を推進する場合には単に一国の利益を追求するのではなく、関係各国の全体の利益に結びつくプログラムを作成し、実際のプロジェクトを推進する必要があると考えられる。

具体的にダムの開発を例にとると、上流国での水力

発電・流域の広範囲での灌漑用水/上水/工業用水としての水資源の活用・下流国での洪水対策、これらの中でできる限り多くの目的をかなえさせるプロジェクトであることが望ましい。同時に、大規模開発が抱える負の影響、例えば環境変化・住民の移住問題・建設コストの負担等を最小限に止める必要がある。

流域が多国間にまたがるために、これらの調査・分析・評価の困難度は国内プロジェクトに比較して大きなものである。また調査分析結果を実際のプロジェクトに結びつける際にも、各国のコンセンサスを得るのに必要な努力はけた違いに大きなものとならざるを得ない。山積する課題を解決するために必要な条件として

- 関係各国が公平な評価を行えるための基準/データ
- それらを目に見える形で各国に提示できる手法
- 各国からの意見をフィードバックさせて、次のサイクルにつなげていける枠組み

等が挙げられる。これらが満足された時、ヒマラヤ東部の豊富な水資源を活用し、地域の経済や社会に大きく寄与することになるだろう。

2. アラル海流域の環境回復

旧ソ連の崩壊後、中央アジア地域には、ウズベキスタン・カザフスタン・トルクメニスタン・キルギスタン・タジキスタンの5共和国が新たに成立した(図

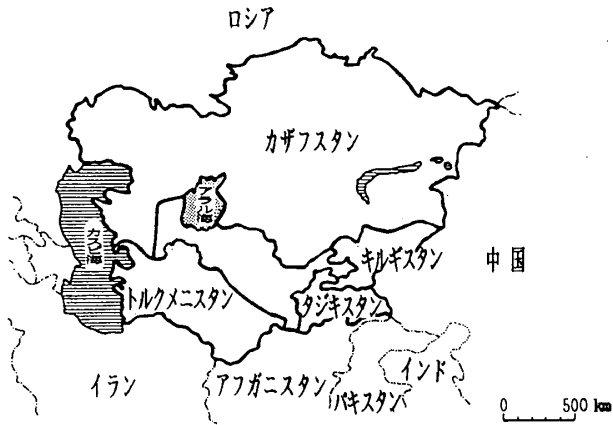


図2 中央アジア5共和国

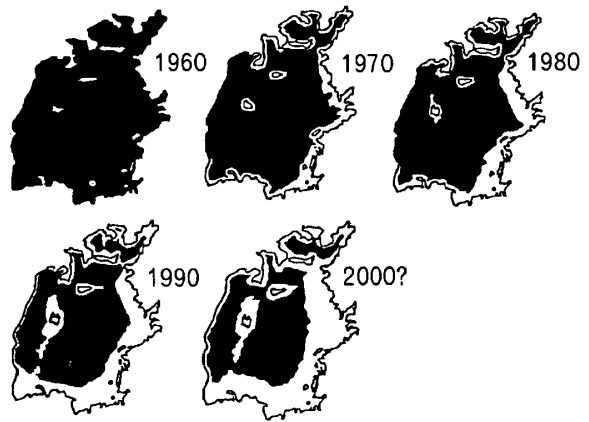


図3 縮小するアラル海⁵⁾

2). これらの国々の主要部は大陸性の乾燥した気候に位置しているが、天山山脈を源とし、アラル海に注ぐアムダリア河・シルダリア河の2本の大河がこれらの国々を流れている。1950年代から、両河川の豊富な水資源を活用し、この地域をソ連の一大農業基地として整備するべく、スターリンの号令の下で大灌漑プロジェクトが推進された。

プロジェクトの進捗に伴い、かつての不毛の地が綿花を中心とした農業生産高で旧ソ連国内最高水準の土地となった。この事実は、当時のソ連政府から「社会主義体制の優位性を示すものである」とのプロパガンダに活用されたが、その事実の背後には今世紀最大とまで言われる環境破壊が隠されていたのである。

(a) 消えていく湖・変化した生態系

かつて、アラル海は世界第4位の内陸湖として九州と四国を合わせたのと同程度にあたる6万7千km²余の湖面積を有していた。しかし、大規模灌漑プロジェクトの進行に伴い、1960年代から徐々にアムダリア・シルダリア両河から湖に流入する水量が減少し、同時に

湖の貯水量も減少していった。1970年代に入るとこの問題はソ連科学者の注目するところとなったが、灌漑による経済効果の前にマイナス面は十分に評価されなかった。現在では、湖は面積で1960年の半分、水量では約3割を有するに過ぎない(図3)^{4),5)}。

流域の水収支が変化したのに伴い、湖や流域の生態系も変化した。湖では魚類が減少し、漁業が成立しなくなった。湖周辺の湿地帯は縮小ないし消滅し、動植物の種類・個体数の減少を招いた。灌漑農地とその周辺では地下水位の上昇によって地上に塩類が析出し、塩害による土地の砂漠化が進行した。さらに荒地に廃棄された農業排水によって新たな湿地が形成されたが、これらの湿地は塩分濃度が大きく、豊かな生態系は形成されていない。

(b) 環境汚染と健康被害

流域では、湖の縮小と生態系の変化以外にも重大な環境破壊が進行していた。灌漑農業に伴う枯葉剤等の農薬や肥料によって水質汚濁が発生した他、流域の都

表1 アラル海周辺住民の健康に関する比較表⁴⁾

国名	ソ連平均	トルメニスタン	タジクス*	ウズベキスタン	カラカルパク**
平均寿命 (年)	70.0	67.7	61.4	68.6	54.8
母親死亡率(人/10万出生件/年)	47.7	77.0	93.0	—	150.0
幼児死亡率(人/1,000人***/年)	24.4	56.4	75.0	46.1	59.9
ウイルス性肝炎 (人/10万人/年)	305.4	264.3	547.8	—	253.2
先天性奇形 (人/10万人/年)				301(1955) 437(1988)	

*タジクス：トルクメニスタン共和国領内

**カラカルパク：カラカルパキスタン自治共和国（ウズベキスタン共和国領内）

***1,000人：新生児＝1歳未満＝1,000人あたり

註：日本における母親死亡率7.4人/10万件(1993年：厚生省調べ)；

幼児死亡率 5人/10万件(1991年：世界銀行「世界開発報告'93」)

市・工場からの廃棄物や排気による環境汚染も重なった。その結果、下流域を中心に流域住民の健康状態も悪化し、特に新生児／乳幼児死亡率や奇形発生率の上昇・消化器・婦人科疾患の増大が見られた。(表1)⁴⁾

(c)問題への取り組み

アラル問題が今世紀最大の環境破壊のひとつと言われる所以は、アラル海の縮小が甚だしいからではない。我々はともすれば湖が干上がって行く様な目に見え易い現象に注目しがちであるが、その背後にはこの地域の経済社会構造を原因とする複合汚染が潜んでいる。

今までに取られてきた処置は、保健衛生状況の改善や低毒性農薬の使用促進等の短期的な対症療法が多く、アラル海の水位回復策に関しては、シベリアの河川やカスピ海からの導水等の非現実的なものが多かった。問題を根本的に解決するためには、旧ソ連時代からの負の遺産である社会構造面の問題や両河川からの水資源に依存した経済構造を改善することが必要である。

複雑に絡まる問題の糸をほぐし、この地域の環境を改善して行くために、日本 GIF 研究財団は財団設立以来積極的に取り組んできた。我々の取り組み開始後、ソ連が崩壊し、新たに5共和国が誕生したことにより、一時は問題の解決が非常に難しいものとなった。しかし、日本 GIF 研究財団の呼びかけ等により5共和国が国家間組織を作り、問題の解決に向けて協力することを決定した。

現在、国家間組織は誕生したものの、未だその力を

発揮するまでには至っていない。また、世界銀行を中心として我国を含む先進各国は流域各国に支援の手をさしのべているものの、内容・規模の両面で充足しているとは言えない。誕生後間もない流域諸国は「アラル問題を解決する」という総論では賛成しているものの、上流国・下流国の利害の対立を解消し、真に協力し合っていくための道のりは長い。水資源・土地利用・環境・経済等の各方面で、5共和国全てに受け入れられる客観的なデータの蓄積とそれらのデータの活用が急務になっている。

3. 中国黄河流域の砂漠緑化と地域総合開発

黄河は揚子江に次ぐ中国第2の大河であり、また「中国の揺り籠」と言われる様に、中国4千年の歴史の中で特有の地位を占める川である。秦の始皇帝が黄河支流の渭河のほとりを中心にした帝国を築いたのを始め、歴代の帝国の多くが黄河流域に首都を置いている。この事実は黄河の流域で古くから農業が盛んであったことを示しているが、気候的には黄河流域は農業に適しているとはとても言えない。流域の大半は平均年降雨量400mm以下の乾燥気候ないしは平均降雨量800mm以下の半乾燥気候であり、黄河とその支流の水資源なくして文明の花開くことはなかったであろうし、現在でも黄河が流域住民の生死の鍵を握っていると言っても過言ではない。

黄河流域は、その水文特性や人文地理的特徴から大きく分けて源流部・上流部・中流部・下流部に分けら

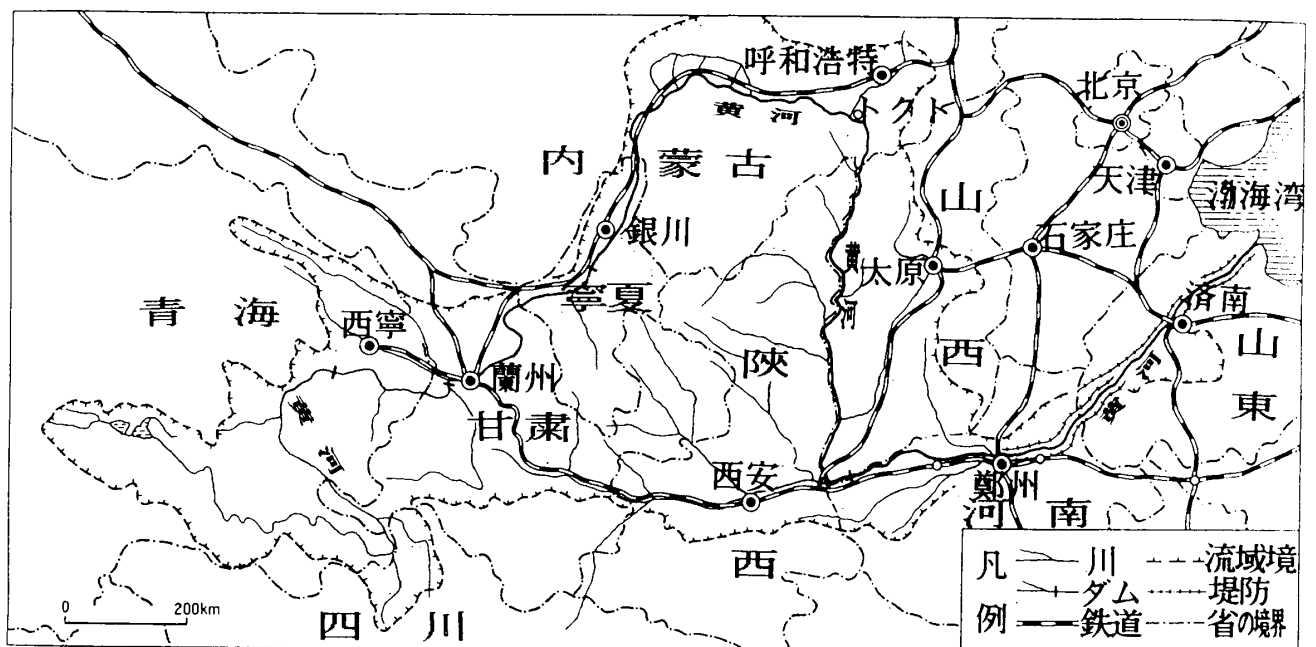


図4 黄河流域図⁶⁾

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会、無断複写・複製・転載を禁ず。

れる。(図4) これら各地域での均衡のとれた水資源開発と流域の環境保全を行っていくことが、流域の持続可能な開発、ひいては中国全体の安定した発展に重大な意味を持つ。

日本 GIF 研究財団では、中国の研究者等との交流を深めながら、黄河流域の地域毎の特色を生かしつつ問題点を解決して行く様な地域総合開発の方向性を探っている。平成6年度には黄河流域延べ4,000kmを縦断しての調査を行った。以下に、簡単に各地域毎の特徴と問題点を述べる。

(a)源流部

黄河は、青海省のバヤンカラ山脈を源にしている。青海・四川省の高原を流れる黄河源流部は人口密度も低く、水資源の使用量も少ない。この地域での課題は現在の環境を破壊する様な開発を導入しないことであるが、元来人口が少ないことから黄河流域の中では問題が少ない地域と言える。

(b)上流部

甘粛省に入ると、黄河は皋蘭平野を流れる。この平野には黄河上流部最大の工業都市である蘭州市があり、流域の人口も増えてくる。このあたりから、寧夏回族自治区を経て内蒙古自治区のトクトまでが上流部である。この地域は、乾燥地域であり、トングリ・モウス等の砂漠が散在しているまた、砂漠周辺部の砂漠化が問題となっており、中国政府はこの地域の開発を進める上で砂漠化防止を重視している。図5、6は鉄道施設をトングリ砂漠の飛砂から守るための施設である。

この地域では、現在皋蘭平野や寧夏回族自治区の銀

川市周辺を中心に灌漑農業を行っているが、下流部の灌漑と比較して決して効率的とは言えない。しかし、中国の輸送インフラ整備の現状から、地域内での農業生産規模を大幅に縮小することは困難であり、黄河の限られた水資源を有効活用する点から、この地域の農業の節水化を図り、下流での水使用に支障のない様に、する必要がある。

(c)中流部

トクトから河南省鄭州市付近の花園口までを黄河の中流部と呼ぶ。この地域には内蒙古自治区の一部・陝西・山西省そして河南省の一部が含まれ、黄土高原が大半を占める。黄土高原を中心に広がる黄土は非常に脆く、強風や集中豪雨等による土壌の流出とそれに関連した土地の荒廃・災害の多発が問題になっている。この地域から黄河への土砂流出量は黄河全体の年間流出量16億トンの9割を占め、次に述べる下流部での問題点の原因となっている。

(d)下流部

花園口から河南・山東両省を流れた黄河は、渤海湾に注ぐ。大量の土砂を含む黄河の水により、河口の位置は年間数キロも海に向かって延伸している他、黄河の土砂は下流部河川敷へも大量に堆積して洪水制御上の問題点となっている。また、山東省は、中国国内最大の省別農業生産量を誇るが、ここでも農業は灌漑に頼っており、黄河の水を活用している。このため、灌漑水路への土砂堆積による灌漑効率の低下が問題となっている。

1995年6月には干ばつのため黄河の水が河口から

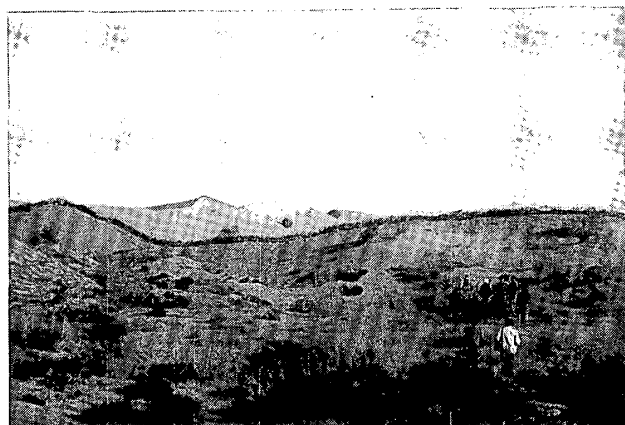


図5 黄河沿いに走る包蘭線がトングリ砂漠の周縁部を通過する区間に延長40kmに渡って設けられた幅500mの防風用グリーンベルト。包蘭線は中国内陸部の大動脈として活躍している。

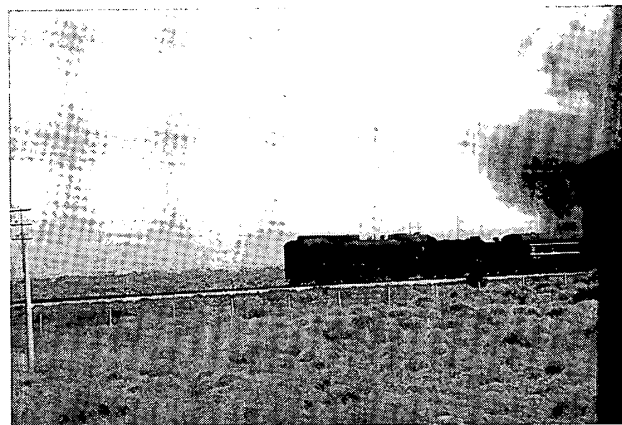


図6 グリーンベルトの内部。草方格と呼ばれる砂止め、乾燥に強い灌木を組み合わせている。画面中央の柴垣の奥にトングリ砂漠が広がる。

600km以上にわたって干上がり、この地域の水資源の厳しい状況を物語った。黄河流域の地域総合開発を進めるにあたっては、水資源の持続可能な利用法と中流部を中心に流出する土砂をどの様に処理するかが最大の課題となっている。

4. 結 び

地域の環境を破壊することなくインフラストラクチャーを整備し、持続可能な開発を行うためには単に技術的側面のみならず社会・経済的側面を含め様々なレベルの評価・判断が必要である。図5, 6で示した鉄道施設の防砂防風用のグリーンベルトなくしてはこの区間の鉄道敷設は有り得なかった。そして、この鉄道は、中国内陸部の開発を進める上での鍵を握る重要施設なのである。この様に、技術・社会・経済各レベルが密接に結びついているため、広域インフラストラクチャーの整備には各方面の英知の結集が必要となる。

広域のインフラストラクチャー整備を進める上では、全体プログラムと下位のプロジェクトの最適化や当事者間の合意形成が成功の鍵となることが多い。ここでは、水資源の開発・利用に関するプロジェクトの例を示したのみであるが、水資源関連にとどまらず広域インフラストラクチャーの各レベルでの評価・判断の基準/材料を提供するためにOR的手法の活用が望まれている分野は非常に多い。拙文が微力ながら、この方面への関心を高めるもとなれば幸いである。

参考文献

- 1) 世界各国経済情報ファイル1995年版：(財)世界経済情報サービス
- 2) WATER AND ENERGY RESOURCES OF THE HIMALAYAN BLOCK：CHANDRA K. SHARMA, PUBLISHED BY Ms. SANGEETA SHARMA
- 3) ヒマラヤ水系水力発電・治水計画研究報告書：日本GIF研究財団 (非売品)
- 4) DIAGNOSTIC STUDY FOR THE DEVELOPMENT OF A MASTER PLAN FOR THE ARAL SEA：UNITED NATION ENVIRONMENTAL PROGRAMME (UNEP) 編
- 5) "ARAL：FROM SALVATION OF THE SEA TO LAND RESTORATION"：IGOR ZONN, PAPER PRESENTED AT THE INTERNATIONAL SYMPOSIUM <LAND AND WATER MANAGEMENT OF THE ARAL SEA BASIN>, 1995
- 6) 黄河の治水と開発：黄河水利委員会治黄研究組編著、芦田和男監修、馮金亭・匡尚富訳、1989、古今書院発行

新時代のコンピュータ総合誌

隔月刊

Computer Today

5月号・特集

偶数月18日発売/定価930円

インターネット情報発信技術総覧

インターネットによる情報発信の今後/HTML V3.0 / VRML / Java/HotJava / CGI / Adobe Acrobat / Internet サーバの概要

連 載

アルゴリズムの道具箱 他

月刊誌

数理科学

5月号・特集

毎月20日発売/定価980円

微分積分

微積分の力	岡本 和夫
三角関数	杉浦 光夫
力学と微積分 惑星はなぜ楕円軌道を描くか	吉田 春夫
微分と差分	薩摩 順吉
多変数関数の微分	川野 日郎
積分の変数変換	渡辺 芳英
空間分布するベクトル	高木 隆司
離散モデルから眺めた熱方程式と電信方程式	西浦 廉政
応用解析の感覚	三村 昌泰
流れの解析	岡本 久

別冊・数理科学

B5・予価1900円

次 元

- ☑ I. 次元とは何か
次元とは/次元の低い次元の話/なぜ4次元か/次元にあたるもの
- ☑ II. 幾何学と次元
幾何学と次元/4次元の幾何学
- ☑ III. 曲面と次元
1次, 2次, 3次曲線, ...複素多様体/低次元物語/4次元の曲面を見る/5次元曲面
- ☑ IV. 相対論と次元
4次元のプロフィール/時間と次元/4次元時空と相対論/ブラックホールと時間
- ☑ V. ミクロの世界の次元
素粒子の時空と次元の変遷/4次元から10次元へ/物質の次元と光学非線形性/場の量子論における異常次元
- ☑ VI. 絵画と次元
4次元のアジサイ/絵画の次元/レインボー・ホログラム

サイエンス社

〒151 東京都渋谷区千駄ヶ谷1-3-25 ☎(03) 5474-8500
インターネットホームページ
<http://www.bekkoame.or.jp/~saiensu>