

[特別講演] ドイツにおける河川環境向上の歩み — その一側面 —

Historical Background of Ecological River Improvement in Germany
— its one side view

高 木 不 折
Fusetsu TAKAGI

1. 概 説

わが国の河川技術者が、近自然河川工法 (Naturnahe Wasserbau, close to nature river improvement) という語に接してかなりになる。当初、主として欧州でのいろいろな実施例が¹⁾、しばらくして技術的な課題とその解決策など²⁾が紹介されてきた。そして、わが国でも数多くの試みがされるようになってきた。建設省や道府県などで行われてきた実施例も、すでに100カ所を越すであろう。建設省も平成6年1月には環境政策大綱を定め、生態系をも含めた河川環境の整備を河川行政の中心課題の一つに位置づけて、積極的に各種施策の遂行に取り組んでいる。

基礎的な研究、たとえば植生のある河川の水利などについても、いくつかの大学や研究機関で進められるようになり、その成果も大きなものになりつつある。そして水工学論文集などに見ても、広く河川及び流域の環境に関する研究がここ数年非常な増加を示しているし、「河川水辺の国勢調査」など各種の調査も勢力的に進められるようになってきた。

ところで、わが国でこうした工事が始まって日も浅く、わが国の自然、とりわけ生態系についての原理原則を十分にはなお見定め得ない段階で進められた各種工事は、手探りで行われてきたといっても良い。そのため、ややもすると観念的に過ぎ、あるいは性急に過ぎたものも少なくないようである。とは言うものの、これだけ短期間に、全国各地の河川でいろいろな試みがされている事は非常に大きな力であろう。多様な自然の個々の要素のもつ本質とその相互関係を捉えることは容易ではない。しかし、その手本は自然自身において他にない。自然自身と、多くの近自然河川工事の成功例から、そして失敗例からも貴重なデータを蓄積し、地に足のついた形で一つ一つの事柄を解決すべく努力したいものである。

欧州において、水辺や河川の姿をより自然に近い状態、多様性をもった状態にしようとの動きがはっきりとした形を取るのは1960年代後半である。経済的に豊かな生活を享受し得るようになるのと並行して、多様な価値観が生まれ、そのひとつの流れが人々の間に大きな共感を呼んだからである。実は、このような動きが出るに先立ち、1948年には、“小川・河川における自然的河川工法、Der Natürliche Wasserbau an Bächen und Flüssen”という論文が出されていた。これは、河川技術者 Artur Walzl によって記されたもので、オーストリアでは“自然的河川工法”という名を用いた最も古い論文である。

さて、近自然河川工法についての基礎的な研究が本格的に進められるようになったのは1970年代半ばからである。ドイツでは、DFG (ドイツ研究協会 Deutsche Forschungsgemeinschaft) が、水問題研究委員会の討議ののち、1979年から1986年にかけての重点プログラム「水文学のプロセスに対する人的影響」を作成した。科学者の共同研究を助け、斯界の研究ポテンシャルを創ろうとしたもので、そこで取り上げられたのは、「地域的・局地的な土壌水分状態の問題³⁾」と「近自然河川改修に伴う水文学的問題⁴⁾」の2つの課題であった。

後者の研究⁴⁾は、主として植生のある河川の水利を扱ったものであるが、高水敷あるいは洪水氾濫原に植栽をしたとき、水位や流れ状態がどのようになるかのシミュレーションモデル“ESNA”まで完成させ、実際の工事に際して治水上の安全が保たれるかどうかの判定・あるいは植栽計画の立案に応用されている。

一方、生態系、河川工学など多くの分野の共同作業が重ねられ、各州の多くの河川で近自然化の工事が進められ⁵⁾、ごく短期間で大きな成果を収めるに至ったのである。このように、河川を自然に近い状態にしようとの動きがごく短期間で進められえたのにはいくつかの理由があげられる。人々の希いが非常に強かったこと、河川周辺に土地的な余裕を取りえたことなどもあるが、実はやむにやまれぬ問題を解決するために、すでに環境改善を目標とした技術が一定のレベルまで育っていたことである。それはもうはるか以前から起こっていた問題で、彼らは非常に長い苦悩の中から今日の視点と技術に到達したことが窺われる。

一方、近自然河川工法という点ではかなり先を歩んできた欧州ではあるが、問題が解決しているかという点と必ずしもそうではない。卑近な例でも、河川技術者と生態系の研究者の背景と思考の違い、将来の流れの予測手法が水理学的にはかなりのレベルに達しているのに対し、生態系の予測手法の開発は遅れている事情。さらには、流れのごく局所的な微細な状況についてまでの情報が必要だとする生態系研究者からの要請などである⁶⁾。そして、問題の解決を難しくしている最も大きな問題は、現実問題として河川環境をよくするために、今、何処で、何をすべきか、何ができるのかをどのように評価するかということである。

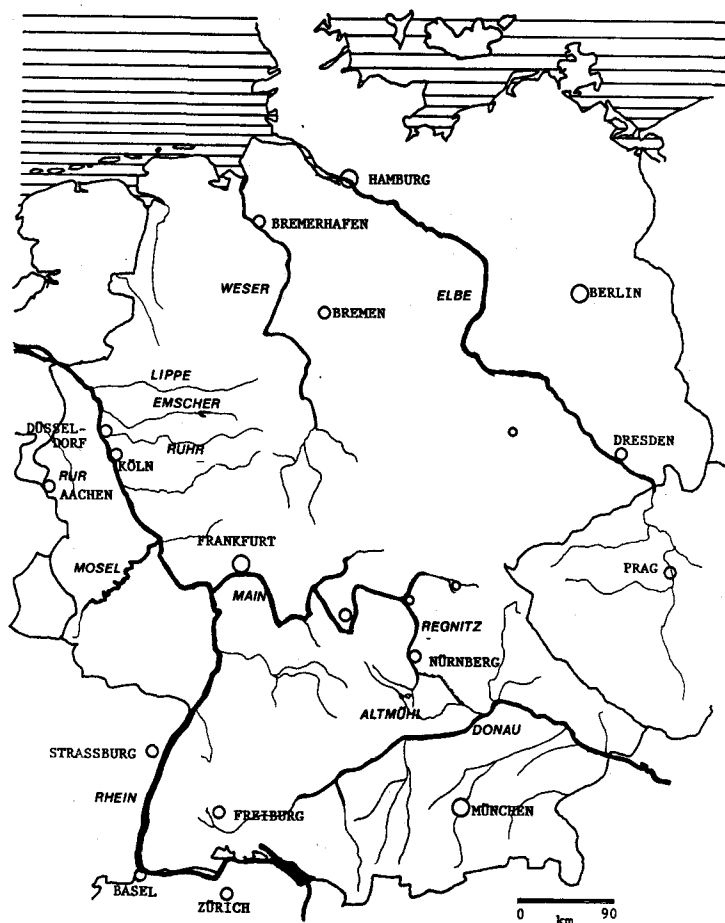


図-1 ドイツの河川概略

近自然河川工法自身の事柄については、すでに多くの場で議論されているので、本稿では、ドイツの近自然河川工法が発展するにあたり、その背景としてどのような苦難の道があったのか。そして現在競合する問題を抱えながらも、それを具体的に解決するために何が模索されているのかを考えたい。

なお、まず、断っておかねばならないのは、ここで取り上げた事柄は、私自身が実際に現地で見、聞き、集めた資料の枠内で考えた範囲のものであることである。

2. 褐炭採掘地の再生技術

ドイツの産業は石炭と褐炭なくしては成り立たなかった。古くから石炭と褐炭が採掘されてきたが、それにもなっているような問題が持ち上がっていた。この項と次項とはこの問題を取り上げよう。

まずは露天掘りによる褐炭採掘地の問題である。当初は地下比較的浅く位置する褐炭が露天掘り工法によって採られていた。最初の露天掘りに際してすでに採掘跡地を以前と同様に再植栽するよう義務づけられていたと言う（1766年 Roddergrube の借地書、1784年の選帝侯通達、1865年プロイセンの山地法）。ただ、それは美観上のものでも生態学上のものでもなく、森林が産業上重要であるからという経済上の動機によるものであった。さらに、1929年にはボンの山地局によって、跡地をできるだけ広く森林として利用できるようにしなければならぬと規制された。その後、各種技術が発展するにつれ、露天掘りの規模も深さも極めて大きなものになってきている。

現在ではドイツの褐炭の埋蔵量は56 billion ton であるといわれ、そのうち55 billion ton はケルン、アーヘン、デュッセルドルフの三角形地域にあり、この地域内の5カ所で大規模な露天掘りが行われている。

ハームバッハのそれは最も規模の大きなものである⁷⁾。掘削している穴は長さ6～7km（側の小さい部分も入れると9km）、幅3km、穴の底は地表より170mの深さに及ぶ。（褐炭を採掘する地域の大きさは長さ13km、幅9km程度の範囲）。現在の採掘能力は石炭に換算して1億2000万ton/年であって、その84%は近くにある火力発電所で使われている。

規模が大きいだけに、設備も大きい。主なものだけでも、

Bucket Wheel Excavator = 22基：

高さ 80～85m，長さ 200～220m，カッターの直径 21.6m

能力 24万ton/日・基，6.6m³の容量のバケット18を持つ。

5人で駆動

コンベヤー：180km，3m幅，7.5m/sの速さ(27km/hr)

運搬能力 39,000 ton/hr

鉄道：385km

堆積機：60,000～240,000 ton/dayの能力のもの20基

地下水の揚水能力：33,000 liter/min，揚程 250m，1～1.2 billion m³/year

（地下水：デュッセルドルフ市、ノイス市に市用水として供給）

などである。

周知のように、露天掘りでは、まず地下水を揚水して、地下水位を下げ（ハームバッハの例では地下水位を地下200mまで下げている）、濠を掘り（前述の規模）、その際出る残土は近くに積み上げられる。（このズリ山の高さは約150m）。その後濠の一端で石炭を採掘し、濠の他端に残土が埋め戻されてゆく（図-2）。このような過程を繰り返して、ハームバッハでは約15年で対象地域19,470haの褐炭を掘ることになる。

これだけ広い面積であるだけに、そこには村落もあれば、鉄道も高速道路も造られている。露天掘りの濠はその位置を動かしつつ、これらの施設すべてを飲み込んで進む。そして濠が通り過ぎた跡地には埋め戻された大地が戻ってくることになる。したがって、村落、鉄道、高速道路などは全て場所を移し換えられるこ

とになるが、最も重要なことは、埋め戻された広い大地が以前と同様な農地や牧草地に再生されることである。さらに、すべてが終わったのちに残る先述の人工の山（ズリ山）と、最後の濠の位置に地下水位が回復することによって出現する湖とが好ましい状態、自然に近い状態にされるかということである。

この自然状態の回復技術の開発には多くの分野の専門家の研究と討論とが繰り返された。大地を戻す技術としては、どのような土質の残土をどのような順序・配列で埋め戻せば、その保水状態が以前になるかという問題が議論された。また、出現する小さい山を自然に近くするにはどうするか。実際、透水係数の大きな土砂を配置することによって、山の中に湿地帯や池を造り出したり、豪雨時の排水系統、山地内の保湿状態の維持に焦点があてられていた。

山地を森林として再生する点でも多くの努力が払われている。当初は全体を一種の木で植林したために失敗に終わった例もあると言うが、植物学、生態学などの専門家によって一つのシステムができていく。各植物の配置の仕方もあるが、まずは極めて速く成長するポプラなどが植えられ、落葉で土壌がある程度出来上がってから、樅などの良質の木を植え、その後ポプラ等を伐採するという方法が採られていた。

私自身は、褐炭掘削開始後6年目、12年目の2度この現場を訪ねたが、山の中の散歩道では、人工の山とはとても考えられず、自然の中で森林、草花そして昆虫などを楽しんだ。70年近い年月をかけて発展されたこの技術もかなり進み、ドイツの技術者が諸外国（インド、タイ、インドネシア、ブラジル）の露天掘りの指導にもあたっていると言う。

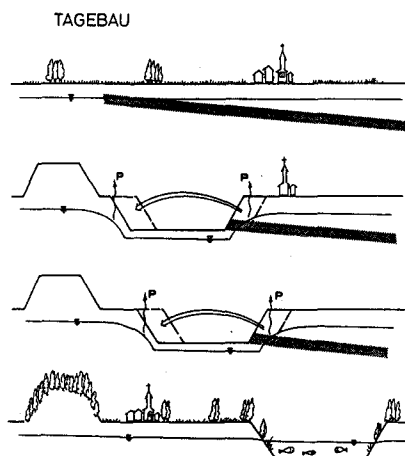


図-2 露天掘りプロセス

3. ルール工業地帯の抱える問題^{8), 9), 10)}

ルール工業地帯はドイツの、そして今日ではEUの経済の中心地域であるといつてよい。地元の人々がここを「炭田地域」「ルールの壺」「石炭壺」などと呼ぶように、石炭がこの地域の基盤であって、それを基礎に鉄鋼業が栄えてきた⁸⁾。

ルール川はノルトライン・ヴェストファーレン州を東より西に流れ、デュースブルク・ルールオルトでライン川に注ぐ235kmの河川で、その流域(4,445km²)の年降水は750~1,400mm(平均1,017mm)である。

このルール川の北には、これとほぼ平行して流れるエムシャー川(全長98km、流域面積784km²)、さらにその北に、やはり平行してリッペ川(全長237km、流域面積4,980km²)が流れ、それぞれライン川に合流している。ルール工業地帯というのは、概ねこの三川の中下流域である。

この地域で石炭の採掘が始まったのは1298年と言われるが、15世紀中葉の原始的な露天掘りから、蒸気機関による地下水排水技術の向上にとまって徐々に深部の石炭の採掘へと移っていった。この地域一帯にデュースブルク、ミュールハイム、エッセン、ボッフム、ドルトムントなどの町ができたのも、石炭採掘とその運搬のため、人々が集まり、かつ交通路と運河網が整備されたために他ならない。

炭鉱は19世紀中頃より飛躍的に進み、1850~1870年にはエムシャー川流域へ、1900年にはリッペ川を越して北に広がり、現在ではルール川南側の石炭は掘り尽くされ、その中心を北に移している。

この地域にとって水問題は重要である。水の供給、物資の輸送のための用水路、運河が建設されてきたが、大局的にはこの地域はルール川より飲料水、用水が、リッペ川より冷却水が補給されている。

ルール川は渇水期には河口で3m³/secになった年もあり、また洪水期には2000m³/secになったこともある。

1:700というこの流況の変動ゆえに、ルール川ダム組合によって多くのダム、貯水池が造られている⁹⁾。この地方は谷底型の不浸透層の上に4~14mの砂礫層があるがゆえに、この砂礫層をフィルターとして用い、上部に地下水涵養のための浸透貯水池を配し、地下水を汲み上げることによって用水を供給している。一方、リッペ川はその水質が悪いので、運河への水供給、冷却水の供給という形でこの地域一帯に寄与している。この両河川より補給される水はエムシャー川に流され、エムシャー川はあたかもこの地域一帯の下水排水路の観を呈してきた。

さて、この地域では、採掘が進むにつれ、古くから大きな問題が起こっていた。その最たるものは地盤沈下である。掘削後の地下の坑道の崩落は地表の陥没と地盤沈下をもたらし、多くの家屋が被害を受けた。とりわけ、エムシャー流域のそれは激しいもので、縦70km、横20kmという広大な地域の到る所で起こる地盤沈下は数mから24m以上にも及び、今日なお沈下は進行している¹⁰⁾。

こうして地表の状態が変化すると、当然のことながら河川の状態も大きく変わり、場所によっては広大な沼状の地域が出現し、これがまた伝染病発生のもとになった。それに石炭採掘、各種工業の廃水、家庭污水が重なり、いわゆる治水上も、水質上も大きな問題を抱えることになった。今世紀初頭は大変にひどい状態だったという。

1904年、法律によってエムシャー組合が流出調整と下水濾過に取り組みはじめる。その1つは排水路の改修であって、堤防の建設などが進められた。以来、地盤沈下に応じて堤防は何度も何度も嵩上げされ、あるいは河床が浚渫され、橋梁も何度も高められるなど地盤沈下との「いたちごっこ」が続けられてきた。地盤沈下、堤防の嵩上げなどによって、1978年に自然排水ができずポンプ排水に頼らざるをえない地域が、エムシャー川流域ではその36%にまでになっている。

他方、ライン川の土砂の堆積のため、エムシャー川とライン川の合流点は1906~1910年には2.8km北へ、現在は9.1kmも北に移されるなど、当地域の環境は非常に厳しい状況に置かれてきた。

流域組合が古くから力を注いだいま1つの問題は、水質浄化の努力であって、数多くの終末処理施設、浄水施設が建設されてきたのである。

ところで、炭田で働く人々が多いだけに、古くからこの地方では余暇の利用の習慣が強かったという⁸⁾。当初は居酒屋での歓談、やがて各種のクラブ活動、そして森林での休養あるいはスポーツなどが盛んになった。そのために、沈下した沼地は場所によってはウォータースポーツの場や魚の養殖地に変えられるようになる。また、あちこちに出来るボタ山（今なお160ヶ所以上ある）は植林され、1970年代前半までに500haのボタ山が植林によって余暇利用の場となっている。（ゴミ捨場、荒地など計1650haが植林された。）この地方のボタ山は、粘土、砂質片岩、砂岩、礫岩などから成るので、シラカバ、ヤナギ、アカシア、ネコヤナギなどがまず植えられ、やがてカエデ、シデなどに変わってゆくと言う。

そして現在、この地域では流域環境全体の向上を目指した大計画が動き出している。治水上の問題では、なお続く地盤沈下中の暫定的な築堤・河川工事と地盤沈下終了後の永久的な河川、排水路計画である。また、数多くの廃水処理施設の拡充によって水質自身が非常に良くなっていることなどを基礎に、河川の近自然化のパイロットプランが進められた。この計画は、流域内に「髭」のように存在する小川（100以上の沢）のすべてを近自然化しようというもので（写真-1）、多くの湖の一部の水位を一定に保ち生態・環境により良い場を作る拠点にしようとの「Ökobecken」計画、水理学的検討に立ったリッペ川の近自然化などと合わせ、この一帯をすばらしい自然に恵まれた地域にすることが目指されている。

自然への希求という最近の動きもあるが、この計画がこれまで述べてきた歴史的な流れの延長上にあることは言うまでもない。とくに注目したいのは、永年の苦悩の中で、具体的に行われてきた治水・利水・植林技術といったハードな事業あってこそその自然化計画になっていることであろう。

ルール地域は、ヨーロッパで最初の最も規模の大きな工業地帯であって、そのため環境が巻き添えになってきたことはよく知られている。しかし、この同じ地域空間が、ドイツの環境破壊に対しての行動が功を奏

した最初の場合であることは案外知られていない。今日なお問題を残しているとは言うものの、ルール川は大工業地帯を流れる河川としては最も清潔な河川であるとすら言われ、流域全体が自然環境に恵まれた場に生まれ変わることが期待されている。

4. ライン側岸運河

スイス・アルプスに源を発し、ボーデン湖を経て西流するラインはバーゼルで北流し、独佛国境、ドイツ、オランダを流れて北海に注ぎ込む。その流域面積は22.5万km²、延長は1370kmである。通常アルプス・ライン、高位ライン、上ライン、中部ライン、下ライン、オランダ・ラインと6つの区間に分けられることが多いが、地勢的にはいわゆる上中下流の状況が3度繰り返されている。

さて、スイスのバーゼルより北上すると、ラインは独佛国境に沿って流れる。本川の中央が国境となっている。今世紀初頭、フランスはこのライン川に沿って運河を建設し、この運河に何ヶ所かの発電所を設けることを考えた。ライン川自身で発電するときは、建設されるダムは洪水の放流施設を必要とするが、それが高価につくからである。さらに、ライン川本川で発電すると、生産される電力は当然独佛で公平に50%ずつ分けられねばならないからでもある。もし、ライン沿いフランス国内に運河が出来れば、洪水時は運河への取水口のゲートを閉じれば事足りる。洪水の放流施設は建設する必要はない。そして、運河に設けられた堰で生み出される電力は100%フランスに供給することができる。全く一石二鳥の計画である。

ところで、この計画を実現させるためには、フランスはドイツより、ライン川の水を運河に取る権利を得なければならない。独佛の具体的な交渉の詳細は知らないが、第1次大戦終了直後のヴェルサイユ条約締結が機となった。この条約で、バーゼルからストラスブルグまでの兩岸を非武装化するとともに、戦勝国のフランスは、ライン川水利権の独占権を合法的に得たのである。こうして条件が整い1920年代より建設されたのがライン側岸運河（Rheinseitenkanal、Grand Canal d'Alsace）である。

この運河はバーゼルより8 km程度下流でライン川と分かれ、ライン川に沿って延々52km流下したのち

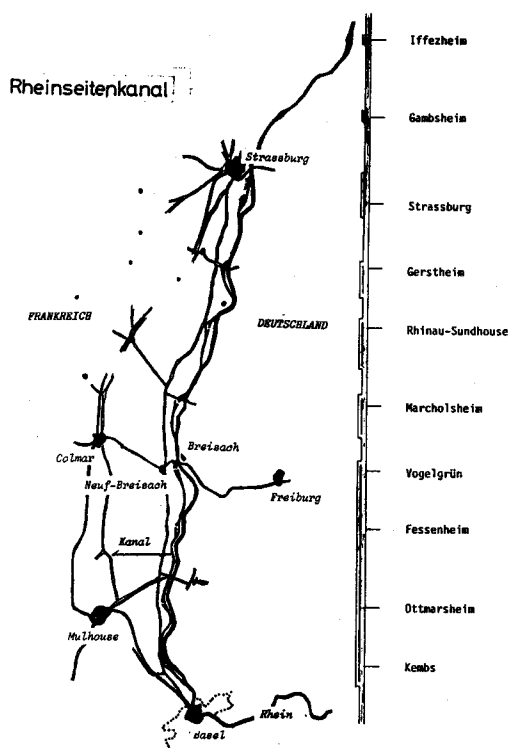


図-3 ライン側岸運河

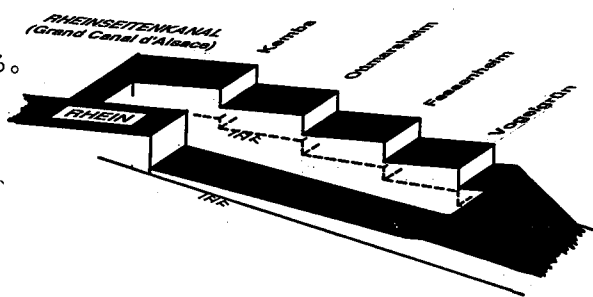


図-4 ライン側岸運河概念

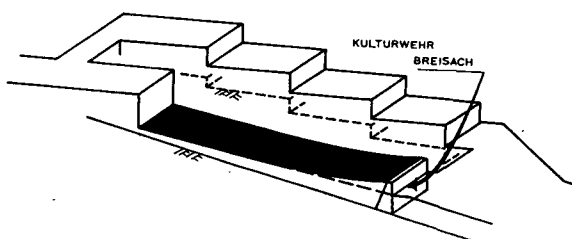


図-5 プライザッハの堰

ブライザッハの地で再びライン川に流れ戻る。この間の水位差60m弱を利用して運河の4ヶ所に堰を建設し合計3650GWHの電力を生み出している（図-3、4）。と同時に、堰の位置には閘門が作られライン川をパーゼルまで南下する船舶はすべて此处を通行することになった（写真-2）。最上流のケンプス発電所の完成が1932年、順次下流に向けて、オットマールスハイムが1952年に、フェッセンハイムが1956年、フォーゲルグリュン発電所が1959年に完成した。

この工事によって、スイスからライン川を流下した水は独佛国境に入るや、常時はすぐにすべてが運河を流れライン川には流されない。洪水時に限ってライン川を洪水が流れることとなった。現在、年間300日以上はライン川本川には上流よりの水は全く流れていないのである。こうして、ドイツの誇った”父なるライン”はこの間ではあたかも単なる洪水の排水路に成り下がってしまったのである。

そればかりでなく、運河への通水が始まって間もなく多くの問題が持ち上がった。運河の水位、水量確保のために運河両側には大きな堤防が建設されるとともに、運河河床よりの漏水防止策がとられたこともあって、ライン本川には残流域からのわずかの水量しか流れず、水位は極端に下がり、ライン本川は痩せ細ってしまったのである（図-4）。そして、ライン川周辺の地下水位の6m~7mあるいは場所によってはそれ以上の低下を結果し、その水辺地域の乾燥化をもたらした。ヴェルサイユ条約によるとは言え、先見の明ありとフランス人の誇るこの運河はフランスには大きな富をもたらしたのに対し、ドイツには深刻な環境問題を強いることとなった。

この問題を少しでも緩和しようとするドイツの対策は、運河が本川に戻るBreisachの地点に堰を設け（1960年）、わずかに河川の水位を高めることだけであって（図-5）、到底本質的な解決にはならない。現在でも、広い水面になみなみと水を湛え、大きな船舶の行き交う運河から、少し歩いてライン川本川に出ると、”歩いて渡河できるのではないか”と思われる哀れな小川がある。これがライン川の中流部の姿なのである（写真-3）。

今一つ大きな問題は流砂である。洪水はライン川を流される。洪水時に一気に水位は上昇し、しかも非常に勢いで流れると、常時乾燥しきっていた側岸を削り、洗掘し多量の土砂が流されることになった。これにはなお有効な手が打てず困却しているのが実状のようである。同時に本川水位の低下に伴う支川の状況変化など、運河完成後ドイツは大きな問題を抱えてきた。

言うまでもなく、ライン川は国際河川であって水に関する利害の対立はすぐに外交問題につながり兼ねない。現在、この河川に係わる流域国が集まって各種連絡・調整をする”国際ライン委員会”が設置されて何10年にもなる。しかしながら、同じテーブルについたとは言え、少なくとも過去30年余り、この委員会が何らかの策を決定したことはないと言う。実際にはすべてが二国間協定で定められているとのことである。

さて、このような経験を経、ドイツからの度々の抗議により、1960年代に入ると「より良いシステム」が模索される。そこでは、1920年代の計画の欠陥の最たるものは「運河の延長があまりに長すぎたことだ」とされた。運河最上下流地点の（したがってライン本川の）水位差が大きいのが故に問題があったと考えられた。その結果、新たにより下流に造るライン側岸運河は10数kmと短くし、発電所も1箇所とすることにされる。この方向でそれぞれ1つの発電所を持つ10数kmの運河が、4つ建設される。マルコスハイム、リイナウ、ゲルスタイム、ストラスブルクの各発電所で、1960年代~1970年代に建設された。

しかし、問題をやや緩和したとは言うものの、基本的には長さを短くしただけで同様な問題を残すことになった。そして、さらに改良策として1980年代に造られたのが、そのさらに下流のガムブスハイム、イッフェツハイムの発電所である。ここでは運河長をより短く、というより、むしろライン本川を拡幅するような形で運河が建設され、堰、発電所、閘門が併設されている。言うまでもなく、最近に建設された発電所は独

仏の共同出資などで、それぞれが等分に恩恵を受けている。

ライン側岸運河はいくつかの問題をも浮かび上がらせ、長い期間かかって少しずつより良いものに改良されてきた。しかし、多くの問題はなお解決しえず問題を残してきた。このような苦悩を繰り返すのと並行して、一方では環境問題をどのように解決するか議論が進められていた。次項に上げるライン・マイン・ドナウ運河である。

5. ライン・マイン・ドナウ運河

ライン川の支川であるマイン川を介して、ライン川とドナウ川を運河で結び、黒海から北海までヨーロッパ大陸を船で横断できるようにしようという発想は古く8世紀に逆上る¹¹⁾。カール大帝は793年に最初の計画としてフォッサ・カロリーナという堀割りで2つの流域を結ぼうとした。その後ゲーテも、ナポレオンもこの夢を懷いた。1836年から1845年にかけてはバイエルン国王ルードヴィッヒ I 世が、実際に多くの閘門を持った運河を建設するが、レーゲンスブルグにあった石橋が障害となり、運行能力も120t程度の船に限られ、さらに鉄道の発達ゆえに立ち消えになった。

そして、今世紀に入り1921年12月30日に、ライン・マイン・ドナウ株式会社(RMD)が設立される。この会社は運河の建設とともに、マイン川、ドナウ川、レグニッツ川、アルトミュール川、レヒ川などの水力の利用権を得たのである。RMDはドイツ連邦66%、バイエルン州34%、その他13の株主0.02%の出資による会社である。その設立後、戦争中などの経緯は割愛するが、1963年にはマイン川運河部分297kmが完成するのとはほぼ同時期に、地域開発計画にも明記されて概ねのルートが決定する。この運河の総延長は、マイン川のアッシャフェンベルグから、国境パッサウ(ドナウ川)までの677kmである。アッシャフェンベルグからバンベルグまではマイン川を拡張し、ここからマイン川支流のレグニッツ川沿いに南下した後、峠を越し、やがてドナウ川支川のアルト・ミュール川を利用してドナウ川に結ばれる。当然ドナウ川も舟行のための整備がされている(図-6、7)。

運河の頂上部分(標高406.0m)とアッシャフェンベルグ間の水位差は297.5m(マイン川河口のマインツまでは324.5m)であり、運河東部は頂上よりパッサウ間の水位差126.3mとなっていて、この間を52の閘門(マインツまでは59の閘門)で結んでいる(図-7)。

この運河の目的は単に舟行ばかりでなく、大規模な多目的計画であって、

- I) 舟行
- II) 水資源の再配分
- III) 発電
- IV) レクリエーション施設
- V) 生態系を含めた自然環境の保全・再生

などが目指された。

舟行に係わる技術的な問題としては、落差の克服、運河の構造(運河断面と満載船の断面比=7、水深と船の喫水比=1.6、船の速度と戻り水の速度比=0.55、数値は標準値)、近代的で効率のよい運河断面、湾曲の半径、橋桁と水面間の余裕(=6m)、街中を通るルートなどがあった。水理学的な事項は1960年代にバンベルグ造船試験所、ミュンヘン工科大学水理学研究所で模型実験が繰り返され、標準断面が決定される。

台形断面：	水面幅	55m
	底 幅	31m
	水 深	4m
	河岸勾配	1:3

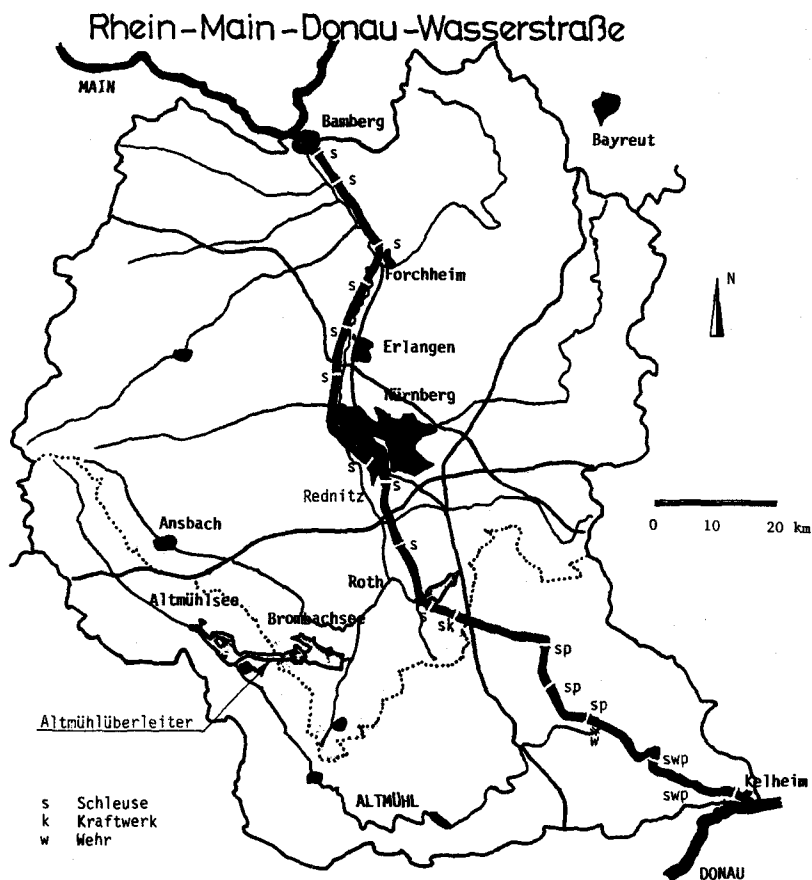
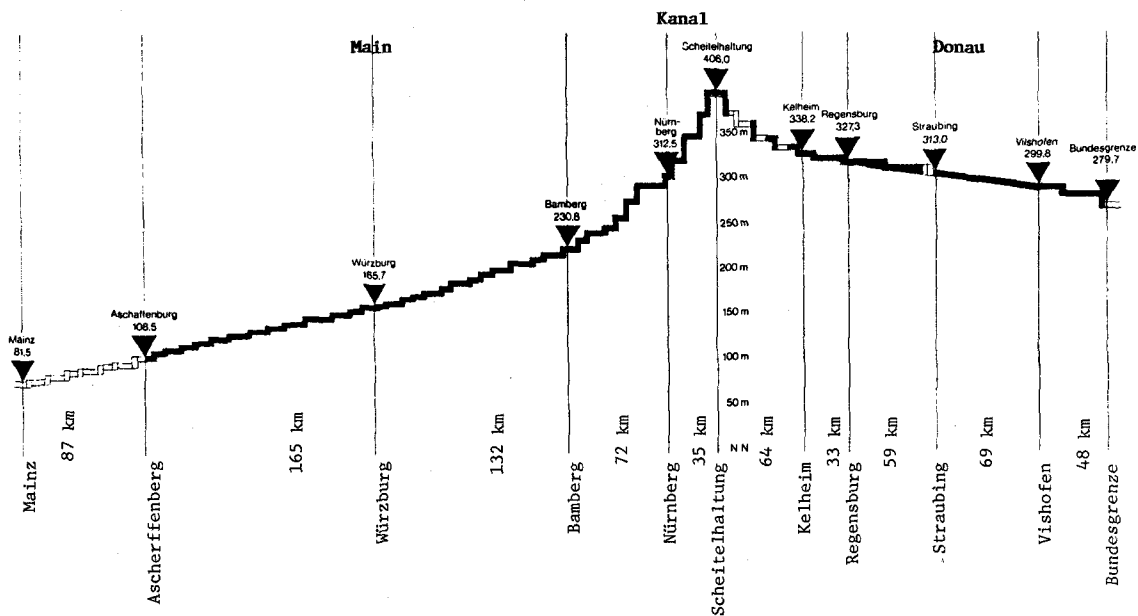


図-6
ライン・マイン
・ドナウ運河
(バンベルグ～
ケールハイム間)

図-7
ライン・マイン
・ドナウ運河標高



	断面積	176m ²
長方形断面：	水面幅	43.1m
	水深	4m
	断面積	172m ²
	(曲線部分では3,300 t の船2隻連結押し船の舟行上やや拡幅される)	
閘門部分：	長さ	190m
	幅	12m

閘門での消費水量を従来のものより40%も減らす節水型で、かつ25mに近い落差を克服する技術も新たに開発された。これにはカールスルーエ大学が大きな貢献をしている。

いま一つの大きな問題は水量に関することである。当然、運河・閘門での使用消費水の供給水もあるが、地域的な水資源の配分問題が大きい。もともと、北部バイエルン地方のレグニッツ川、マイン川流域一帯は水量に乏しかった。そこで、バイエルン州の国土計画の最優先目標の一つとなったのが、ドナウ流域からレグニッツ川を経てマイン流域への水の再配分計画(1970年7月、バイエルン議会決定)であって、この運河計画の一環としてこれが実現された。

それは2つのシステムから成っている(図-6)。1つはこの運河を利用してドナウ流域の水を堰地点で順次ポンプアップし、閘門での使用水をも補いながら、マイン川に送るシステムであって、年間12,500万m³が送られる。いま1つはトンネルを抜いてドナウ流域(実は支川アルトミュール川)の水をレグニッツ川に送るシステムである。アルトミュール谷の下流部はこの運河が建設されるが、洪水をこの運河に流すのは好ましくない。そこで、アルトミュール流域の平野部に人造の湖、アルトミュール湖を造りここに洪水を貯め込む。一方、レグニッツ川の上流平野部にも人造湖(ブロムバッハ湖・写真-6)を建設して、この両者を山地の地下を通した水路トンネルで結ぶことによって、アルトミュール川(ドナウ流域)の水、年間2,500万m³をレグニッツ川(マイン流域)に供給し、レグニッツ川、マイン川の低水位の改善(レグニッツ川で従来の渇水期12m³/sが、27m³/sにされる)が企てられ、北バイエルンの広域的な水資源計画にも資されることとなった。

以上の2つのシステムは一見して無関係ではあるが全体として補足し合っており、共に運河への水供給をも兼ねている。これによって実際の閘門での通行のための消費水量ばかりでなく、運河での蒸発・浸透による損失375,000m³/week(0.6m³/s)と漏水分128,000m³/week(0.2m³/s)をカバーした。

一方、閘門、堰を利用して行われる発電も、RMD全体で年間2,984GWhに達する。計57の発電所で、29ヶ所がマイン川に、2ヶ所がレグニッツ川に、21ヶ所がドナウ川に、4ヶ所がレッヒに、1ヶ所がアルトミュールに設けられている(図-7)。

さて、ライン・マイン・ドナウ運河を語るとき、最も特徴的なのは自然、生態系の保全と再生そして景観設計の事柄であろう。ニュルンベルクからケルハイム近辺までの99km、とりわけアルトミュール溪谷は景勝の地で、運河の建設が自然、景観に与えるインパクトとその解決のため、あらゆる側面からの調査が繰り返された。

このあいだの運河に沿った景観地域は森林地帯、草地あるいは耕地、農業地帯、溪谷とその近辺の小川、湿地帯、そしてそれらそれぞれの持つビオトープはかなり多様なものとなっていて、運河をこの景色にとけ込ませることは容易ではなかった。

アセスメントの結果、

- i 運河工事のために森林に造られる道は、林相に応じて迅速に植え替えるとともに、森林の両端を護ること

ii 近辺は透水性の低い地層で、比較的地下水位は保たれうること

iii 幅55mの運河が狭い溪谷景観とスケールの溶合されるべきこと、閘門の水位の昇降と近辺地下水位ならびに近辺水辺との関係、すなわち生態系の事項

などが中心課題となった。

1963～1966年にかけて運河と景観の一体化の議論が進み、1973年には最初の技術的な構想が出る。これと並行して1972年には、ラインハート・グレーベ教授（R.Grebe）にアルトミュール溪谷の景観設計が委託されて、1974年「アルトミュール溪谷景観設計」が発表される¹²⁾。この設計書は、連邦やバイエルン州の自然保護法発効以前のもので、工事の環境へのインパクト、生態系上のバランスシートを含み、かつ工事の場のみならず周辺地域も含んで運河と自然・生態・景観を一体化しうることを示した。この景観設計は、

i 水路が自然にできるだけ適応しうるようにし、構造物を溪谷の形式にマッチするよう設計する。

ii 運河にはできるだけ曲線を持たせ、近くの道にも変化を与える。平行線は避ける。

iii 旧河川の水面などをできるだけ多様な形で残し、景観に多様性を与えるとともに、新しい水面をも造る。

iv 沈下した地形の所は土で埋め戻さず、むしろ水で満たすこと。

v 川岸、堤外地、堤内地に立地に合う植栽を行う。

vi 湿地帯、生物棲息環境や、動物の休息域を保存し、あるいは設けること。

などを基礎として提案された。

さらに、専門家グループ、鑑定家グループが作業を重ね、市町村もアルトミュールタル運輸組合を結成して、市町村の将来計画、砂利場、廃棄物処理、キャンプ場、小径計画などを運河・景観計画と整合させるべく努めた。

さらに、法的な手続きのための数多くの新たな調査検討もされる。アセスメントについても、単に1度だけでなく、動植物の成育期に合わせて少なくとも2度は行われた。遺跡保全のための発掘調査もされたことは言うまでもない。エンジニアと景観および生態系の専門家間の議論・調整は徹底的で長期に及ぶものであった。

アルトミュール溪谷は古くからその地の人々が誇る景観の地であった。運河が景観を破壊するとの声が上がったのは言うまでもない。そのために施工計画として取られた策は興味深い。工事はできるだけ短い区間ごとに、できるだけ短い時間で竣工させ、すぐに植栽し、自然を戻して次に進められたのである。これによって、できるだけ早い時点で人々に工事完成後の溪谷の姿をイメージさせ、安心させるとともに、完工地周辺での各種調査がその後の工事あるいは自然の復元技術に、その地に適した、最新の指針を与えることにもなった。

こうしてアルトミュール溪谷は新しい運河を中心に、見事な景観の地として生まれ変わった（写真－4、5）。運河建設に反対する人々が、「こんなに美しいわれわれの谷を・・・」と掲げた風景写真が、実は工事完成後の写真であったというエピソードも残っている。実際、運河の近くを歩いても、近くの丘の上から眺めても、もう一度訪ねたいと思う風景である。

さらに、運河沿いの湖、人造のアルトミュール湖、ブロンバッハ湖は、自然に恵まれた水泳、ヨットなどの水上スポーツの場を提供し、人々が余暇を楽しんでいる（写真－6）。

1992年9月25日、大統領列席の上でライン・マイン・ドナウ運河は全区間開通した。以前バベルの塔以来の馬鹿げた計画とジャーナリストが評した運河は、舟航、水資源配分、発電、レクリエーション、自然の再生の場として大々的に活動するとともに、21世紀の社会資本のあり方、土木事業の進むべき道の模範ともなったのである。



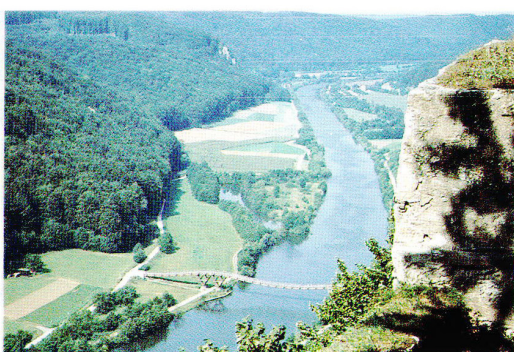
写真－１ Braune谷のパイロット工事例
(Emscher流域)



写真－２ ライン側岸運河開門部



写真－３ 流量の減ったライン本川中流部



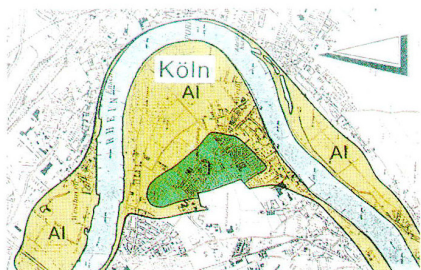
写真－４ RMD運河と自然の戻った
アルトミュール谷 (エッシング)



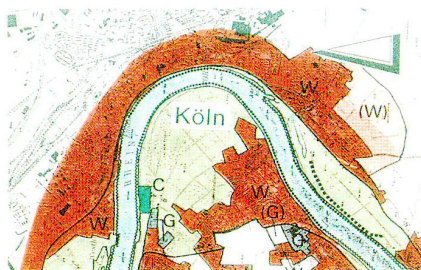
写真－５ RMD運河 (アルトミュール谷・
リーデンプルグ)



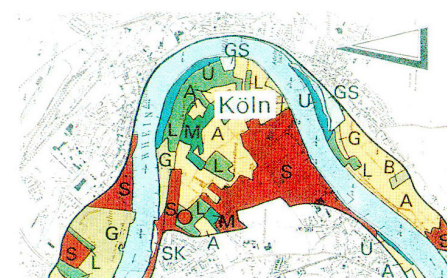
写真－６ 人造湖ブ롬バッハ湖



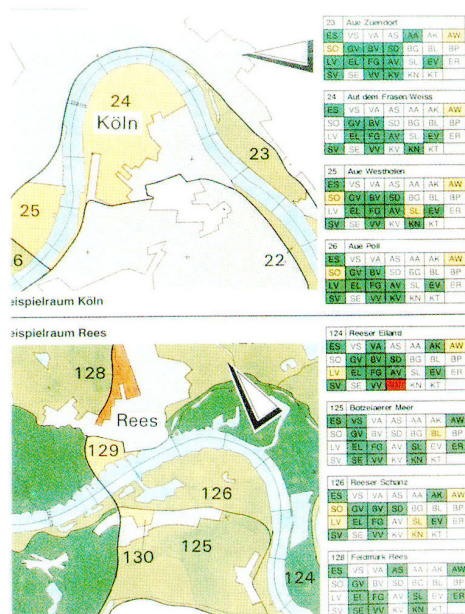
写真－７ ライン周辺の自然条件
ケルン・リース周辺¹⁴⁾



写真－８ 土地利用図（人工的構造）¹⁴⁾



写真－９ ビオトープのタイプ分類¹⁴⁾



写真－10 生態学的空間単位での具体的な施策
遂行上の可能性評価¹⁴⁾

6. 競合する問題解決に向けて

このような永年の技術開発の歴史を背景とし、また数々の法的整備も進められ、ドイツでは比較的短期間で多くの河川が近自然化されてきたが、それも実を言うところ、当然のこととはいえ、可能な場でできうことがされてきたのである。「洪水の氾濫を許してでも近自然化を……」とよく言われるが、それは氾濫しても被害の出ない場でのことであって、河川の持つべき第一義的な機能が洪水に対する安全性にあることは論を俟たない。そしてまた水質自身がきれいであることが基礎でもある。ルール工業地帯の成功は水質浄化の努力があればこそのことであった。

しかしながら、現実には今すぐ河川の近自然化が可能な場合は限られ、さほど多くないし、そこが困難な場であればあるほど自然・生態系の保全・再生の欲求と河川の安全を護ろうとの意図の間での摩擦は大きくなる。一つのプロジェクトの計画ができた段階で、あるいは工事がある程度進んだ段階で全く別の視点を持った人々から、場合によってはその場とは全く関係のない人々から反対の意見が出て紛糾することがある。この事情は程度の差はともかく、ドイツ、欧州各国でもわが国と同じである。

この項では、このような軋轢をあらかじめ排除するとともに、具体的にどこで何をすべきかを明らかにするための方策として、今何が模索されているかを考えよう。すなわち、プロジェクトの意志決定に対する支援システムであって、ライン川下流部を対象として極く最近開発された「ライン川の治水・環境・水質保全・舟航の総合概念」である^{13)、14)}。

数多くの城を左右に見ながら「ライン下り」をしてしばらくすると、以前の首都ボン、そしてケルンに着く。この辺りから下流オランダ国境に近づくにつれ、ライン川は広い氾濫原を持った低地河川の様相を呈してくる。デュッセルドルフ近辺から下流は日本と同じような築堤を持つ河川となる。場所によって第1堤防の裏には氾濫原があり、その奥に第2堤防が造られている。この2つの堤防の間には農耕地が広がり、やや微高地には市街地が点在しているが、最近はこの氾濫原と堤防の後背地では、とくに住宅地の住宅密度が高くなってきた。

上記の区間のライン川、すなわちノルドライン・ヴェストファーレン州を流れる170kmについて、1986年から1990年にわたり、ライン川の堤防の安全性・機能の確実性が調査された。その結果、全体の50%弱に相当する130kmの堤防が所定の機能を満たしていないことが判明した。この事実を受けて、ライン川の改修計画を立案するにあたり、洪水防御、舟行、生態系の事柄をどのように扱うかが問題となった訳である。

言うまでもなく、このプロジェクトでは、河川の全体像を捉えうる土木技術者集団を中心に、舟行に関する専門家集団、生態系に関する専門家集団が何段階かの調査、検討、調整を重ねて順次解決への道を進む。しかし、紙面の都合で、ここではその体制、進め方の個々については割愛し、具体的に何が試みられているか、生態系に関する事柄に焦点をあてよう。

このシステムではGIS（地理情報システム）が大きな役割を果たしている。

i) 自然条件、生態学的指導原理

まず、自然地形の分類図が作られる。氾濫原、河川域、河川水面、旧河川の名残り、森林地域、湿地帯などの詳細が図面に入れられる（写真－7）。ライン川とその氾濫原の生態系保護の目標は、できうる限り自然状態に近い氾濫原と河川の景観と生態系の保全・再生であるので、この図は、自然に近い状態として人間の介入以前の様子を認識し、また、現在の土地利用図（写真－8）との比較を通じて、人為的な変形によって自然がどの程度狭められているかが検討されることになる。

さらに重要なことは、この図を用いて生態学的な、いわば指導原理をまとめることであって、これは、

- ・ ノルドライン・ヴェストファーレン州全体のライン川と氾濫原についての原理
- ・ 人為的な変形の程度、周辺地域との変換が可能かどうかによって定まる部分領域についての生態学的指導原理
- ・ 対象地域のさらに外側の地域で考えられるべき原理

の3つに分けられるが、これによって、湿地帯にするか、広葉林帯にするのが好ましいかなどがその第1段階として大きく想定される。

ii) 氾濫原の計画目標

対象地域はさらに小さい「生態学的空間単位」に分割される（ここでは155の地域、写真-10の左にある番号の付けられた各地区）。そしてその個々の場の現在の状態に照らしながら、生態学的開発ポテンシャルが算定される。保護に値するビオトープの面積比率が出されるのである。ビオトープのタイプが図上に落とされるが、その一例が写真-9である。写真では、農地A、緑地G、豊かな構造の緑地GS、広葉樹林L、河岸樹林U、砂地と砂利地SK、住宅地Sである。

生態学的開発ポテンシャルを基礎に、氾濫原の155の部分空間のそれぞれの場に、生態学的な保護優先順位が、非常に低いものを5とし、非常に高いもの1までのランクがつけられる。上記のうち1のランクがつけられたのは17ヶ所であった。

ランク1の場は絶対に維持され、ランク2の場は優先的に維持しつつ開発される必要があり、何らかの利用や介入をするときも、これらの空間の価値を上げる方向で考えられることになる（生態系優先地）。ランク3の場は現状と将来計画とを調整する、生態系・経済調整地である。4や5の場はすでに生態系が破壊されている場で、経済優先地と見做される。ライン川自身とその水辺についても同様な検討がされることは言うまでもない。

iii) 生態保護・洪水防止・水運の調整

生態系保護のそれぞれの空間についての目標は洪水防御ならびに水運上の問題との競合関係の上で調整されねばならない。これは氾濫原とライン川の各区分で、「実現可能」「恐らく実現可能」「実現不可能」という形で評価される。

生態系のための計画目標としては、27種類の施策が上げられている。例えば、

- ES：避難セルとしての構造と生息空間の維持
- VS：ライン旧河川系と現在の河川とのつながりの改善
- AS：孤立した旧河川系を現在の河道とつなぐ
- AW：氾濫原に森林を造り定着させる
- BG：広範囲にわたっての引堤

などである。写真-10の右にある28のマス目は1つの生態学的空間単位についてのこの27施策である。緑色は実施可能、黄色は恐らく実施可能、白色はその施策は考える必要もなく無意味なもの、赤色は実現不可能な施策であることを示している。このようにして生態学的な施策27を155の空間のそれぞれについて専門的な立場から評価する訳である。

iv) 摩擦、競合の分析

以上の調整を終えたのちに、当該地域にある他の利用、他の計画との関係が検討される。コンフリクト分析であって、農林業、建物の建設、砂利の採取、レクリエーション地、水利用、鉱業、狩猟、そして言うまでもなく漁業などとの摩擦の程度を検討するのである。

v) 解決策の提案

多様な問題がからむので、簡単には解決するのは難しいが、以上の検討をベースとして、まず、どこで何ができるか、どこから始めうるかを示す段階であって、生態系としてのライン川の将来計画のアクション・プログラムを示すことになる。

ここでは、非常に大きなシステムの一部の概念を記したに過ぎないが、従来、十分整理されることもなく、観念的に対立するばかりの問題を整理するとともに、GISとそれぞれの分野で開発された研究成果からの情報を、系統的に、しかも何がどこまで可能であるかないかを具体的に、現実を踏まえて明らかにしようという姿勢がこのシステムに現れている。そして、ライン川での河川の改修計画決定への技術的な支援システムとして威力を発揮しようとしているのである。

7. まとめ

ドイツでの過去の人為的な施策によって環境が大きな痛手を受けた事例、その解決のために古くから苦悩し、努力が続けられてきた事柄を挙げ、そしてようやく今日、彼らは自然環境を再生するための一定の技術を手に入れた様子を見た。

ドイツで近自然河川工法が短期間に大きな成果をあげようとしているのは、このような永年の努力を背景としているからに他ならない。この間、河川近辺での生態系についての具体的な研究も多く、1つ1つデータを積み上げ、知識を蓄積しているように思われる。そこに見られる姿勢は、実学のそれであって、あらゆる面で、「自然自身が教科書」とされてきた。

わが国にはわが国の気候風土、文化があり、近自然化される自然が本当に自立しうるかどうかを考えながら進みたい。観念的に流れずに進みたい。また、一般の方々にも、河川環境の改善に対してもう少し息長い眼で、温かく見守っていただきたいと思う。生態系など多くの専門家の助力を得ながら進めなければならないが、河川と流域の全体像を捉えうるのは、河川技術者だけであるだけに、土木技術者の責任と責務は従来よりもずっと大きくなっていることを認識しなければならない。

参考文献

- 1) 例えば、まちと水辺に豊かな自然を－多自然型建設工法の理念と実際－、リバーフロント整備センター、平成2年1月、及び、多自然型川づくりを考える、リバーフロント整備センター、1990. など
- 2) 多自然型川づくりシンポジウム講演集、リバーフロント整備センター、平成3年7月など
- 3) Rolf Mull et al, Anthropogene Einflüsse auf den lokalen und regionalen Bodenwasserhaushalt, Anthropogene Einflüsse auf hydrologische Prozesse Band 1, DFG, VCH, 1987.
- 4) Gerhard Rouvé et al, Hydraulische Probleme beim naturnahen Gewässerausbau, Anthropogene Einflüsse auf hydrologische Prozesse Band 2, DFG, VCH, 1987.
- 5) Flüsse und Bäche-erhalten. entwickeln. gestalten-Heft21, Wasserwirtschaft in Bayern, Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern, 1989.
- 6) E. Ritterbach, Wechselwirkungen zwischen Auenökologie und Fließgewässerhydraulik und Möglichkeiten der integrierenden computergestützten Planung, Mitteilung Nu. 80, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, 1991.
- 7) Focus on Rheinbraun, Rheinische Braunkohlen AG, 1982.
- 8) W. Dege, Das Ruhrgebiet, Ferdinand Hirt, Kiel, 1980, 邦訳 佐々木博他：ルール工業地帯、二宮書店、1980.

- 9) 75 Jahre, Im Dienst für die Ruhr, Ruhrverband u. Ruhrtalsperrenverein, 1988.
- 10) Fünfzig Jahre Lippeverband, Lippeverband, 1975.
- 11) H. Burger und H. Kapfinger, Bayerns Weg zum Meer, Neue Press Verlags-GmbH, Passau, 1992.
- 12) Landschaftsplan Altmühltal, Main-Donau Kanal, Strecke Dietfurt-Kelheim, Rhein-Main-Donau AG, München, 1974.
- 13) R. Boettcher, E. Ritterbach, G. Rouvé, Multi Disciplinary Strategies for Flood-Plain Restroration at the River Rhine, Hydraulic Engineering'93, vol. 1, ASCE, 1993.
- 14) Gesamtkonzept Rhein in Nordrhein-Westfalen-Hochwasserschutz:Ökologie:Schifffahrt-, Grundlagen, Kurzbericht, Landesamt für Agrarordnung NRW-Technische Zentralstelle Düsseldorf, 1992.