ライン川における総合治水計画と氾濫原の復元（報告）

Rhine River flood-control plan and restoration of its flood plain

研究第二部　次　　長　池　内　幸　司
研究第二部　主任研究員　浅　利　修　一
研究第二部　主任研究員　北　田　健　夫
研究第二部　研　究　員　原　田　圭　助

我々４名は、平成 10 年８月に、ドイツを訪れ、ライン川及びドナウ川支川のレヒ川、イザール川を中心に河川整備の現状と自然環境について視察する機会に恵まれた。視察では、Baden-Wüerttemberg 州政府及びその出先事務所、WWＦ氾濫原研究所、ＢＣＥ社等を訪れた。今回は、そこでの説明や収集した資料を基に、ライン川の治水計画と氾濫原の復元について報告するものである。

キーワード：ドイツ、ライン川、治水計画、環境保全、氾濫原、環境復元、河川の自然復元

In August 1998 we visited the Rhine, Isar, Rech, a tributary of the Danube, and other rivers in Germany. We observed the state of river works and studied each river's natural environment. Our trip also included visits to the main and branch offices of the Baden-Württemberg state government as well as the WWF Floodplain Institute and BCE Corporation. This report on the Rhine River flood-control plan and the restoration of its flood plain is based on what we learned during these visits and materials we received.

Key words : Germany, Rhine River, flood-control plan, environmental preservation, flood plain, environmental restoration, river restoration.

1．ライン川の概要

ライン川は、ドナウ川などの他のヨーロッパの大河川と同じく、アルプスの積雪地帯に源を発している。

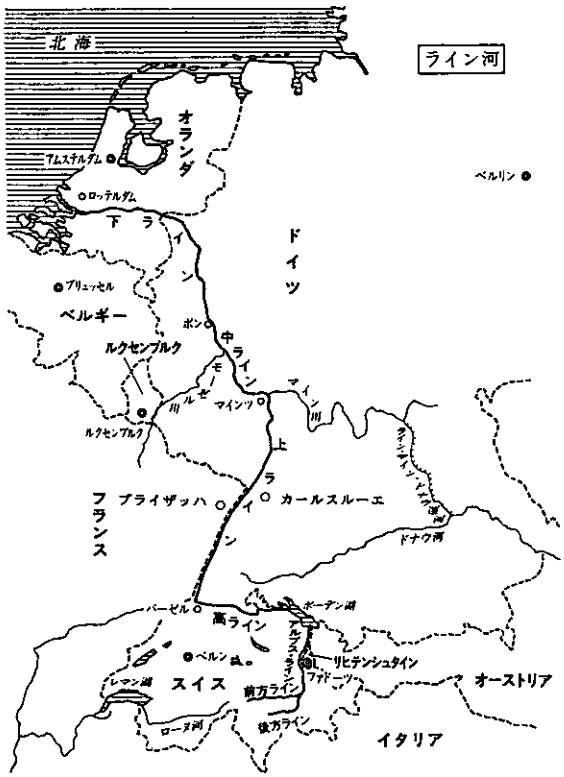
源流であるスイスの泉からボーデン湖までは、アルプスラインと呼ばれている。

ボーデン湖からバーゼルに向け 140km の西に向かう流れは、高ライン（Hoch Rhein）と呼ばれ、ボーデン湖による天然の流量調節により、ゆったりとした流れになっている。

バーゼルの港を境に西向きから北向きに流れを変え、ライン地溝帯と呼ばれる低地帯を流れる。この地域は、フランスのヴォージ山脈と「黒い森（シュバルツバルト）」を含む中央ドイツ山岳地帯に挟まれていて、上ライン（Ober Rhein）と呼ばれている。

中ラインは、マインツからボンまでの 125km の区間で、河床勾配は緩いものの川幅は狭く、ローレライに代表される難所が点在している。

下ラインは、ボンから河口部に至るまでの 370km の区間で、ゆったりとした流れになっているが、ケルン周辺で、洪水が頻発している[1]。



図－１　ライン川流域の概要[2]

Fig.1　Rhine River Basin (ref. no. 2)

2．ライン川の河道の変遷

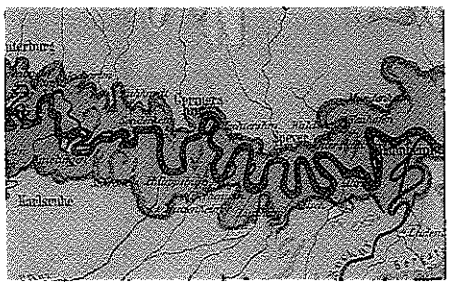
2－1　改修前のライン川

1800 年以前の改修前のライン川は、土砂が供給され、常に攪乱が起こっていたため、流路も植生も安定せず、カールスルーエより上流では網状河川となっていた。

カールスルーエより下流では、平地性となり、蛇行の激しい河川であった。

図－２　網状河川（バーゼル～ブライザッハ）[3]

Fig.2　Braided Rivers (between Basel and Breisach) (ref. no. 3)



図－３　激しい蛇行（カールスルーエ～マンハイム）[3]

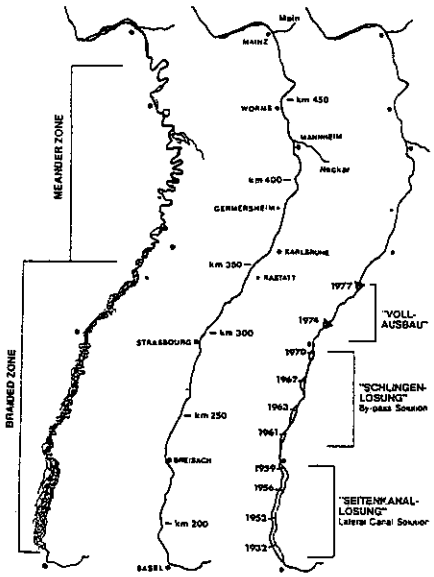
Fig.3　High Degree of Meandering (between Karlsruhe and Mannheim) (ref. no. 3)

2－2　改修による河道の変遷

上ラインの河川改修は、1800 年頃から計画され始めている。1807 年には、カールスルー大学の前身を創立した技師 Tulla（ドイツでは土木技術者の祖とされている）が計画立案と工事実施にあたり、1817 年から 70 年をかけて工事を施工した。改修の目的はライン川上流の洪水氾濫防止対策と安定した船舶航路の確保で、目的は十分に達成された。

Tulla は、氾濫原の洪水調節機能の重要性を深く認識しており、堤防を完全につながず、天然の遊水池を確保すべく計画していた。

しかし、湛水頻度の減少とともに氾濫原の利用が進んでいった。それにより、洪水による氾濫原の浸水が社会的に許されないものへと変化していった。河道は直線化され流路延長が 100km 短くなり、洪水到達時間が大きく短縮された。

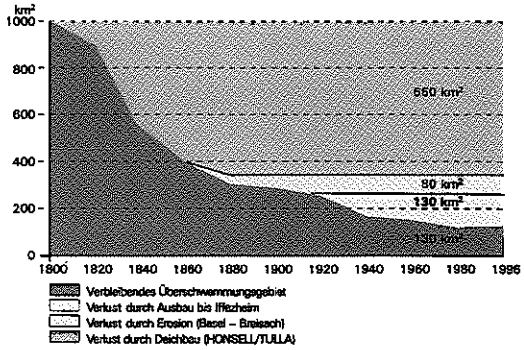


図－4　ライン川の河道の変遷 [4)]

Fig.4　Changes in the Rhine River Channel (ref. no. 4)

2－3　氾濫原の減少

以下に河川改修による氾濫原の面積変化を示す。1800 年ころの氾濫原の面積は 1,000km² あったが、前に述べた Tulla-Honsel 時代の堤防工事により 660km²、その他により 210km² 減少したため、1980 年代には 130km² となり、1800 年の約８分の１にまで減少した。



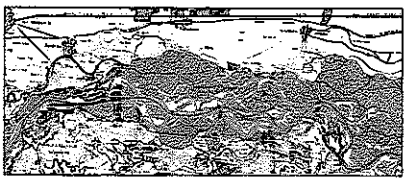
図－5　氾濫原面積の推移 [5)]

Fig.5　Changes in the Area of the Flood Plain (ref. no. 5)

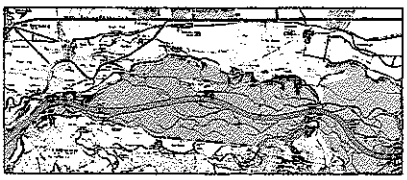
このため、洪水貯留能力が著しく減少し、流路延長が約 100km 短くなったことも手伝って、ライン川の洪水波のピークが高くなるとともに、ピークの到達時間も短くなった。近年、ライン川中下流域（ケルンなどが顕著）では、浸水被害が生じている。

河川改修による氾濫原の変化を改修前（1828 年）、一次改修後（1872 年）、現状（1963 年）で比較すると以下のようになる。

改修前
1828 年



一次改修後
1872 年



現状
1963 年

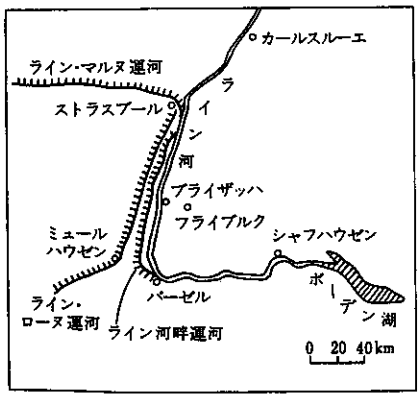
図－6 河川改修による氾濫原の変化 [6)]

Fig.6　Changes in the Flood Plain Due to River Improvement (ref. no. 6)

2－4　運河による変化

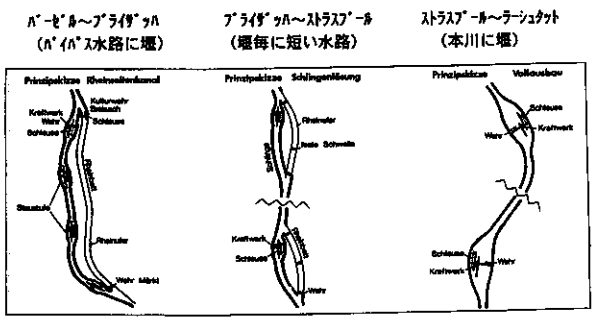
この区域は、1967 年にライン河畔運河が完成することにより、自然環境は大きく改変されている。

現在、ライン川には、船舶航行のための運河と 10 カ所の水力発電所が設置されている。この運河計画は、フランスアルザス地方がドイツ領であったころに計画されたもので、第１次大戦のベルサイユ条約で、全長 120km の運河を施工する権利を得たフランスが 1928 年に工事に着手した。完成当時この運河は毎秒 1,000 トンの水を取水したため、本川の水がほとんどなくなってしまった。もともと、19 世紀以降の改修により最大５～６ｍも河床が低下していたこともあり、地下水位の低下は著しく、旧河道などの湿地は乾燥し、農業生産は落ち込み、森林も乾ききって松しか育たなくなってしまった。



図－７　上ラインの運河 [2)]

Fig.7　Upper Rhine Canals (ref. no. 2)



図－８　流量復元のための運河の改修 [3)]

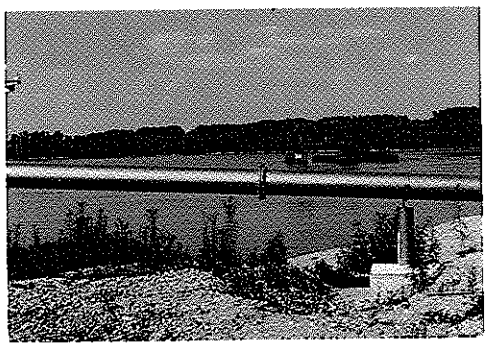
Fig.8　Canal Improvement for Discharge Restoration (ref. no. 3)

その後、独仏協議の結果、本川を航路に共用することになり、ストラスブールからブライザッハまでの間は、流量は復元されている。

船舶航行及び水力発電のため、カールスルーエより上流側に多くのダムや堰がつくられた。その結果河床低下（毎年１cm 程度）が進行し、不均一な河床低下と水位低下で船舶航行に支障がでることから、延長 30～40ｋｍの区間に毎年 30 万トンの土砂を河川に投入している。

2－5　砂利採取跡地

旧河道（氾濫原）のいたるところには、写真－１に示すような砂利採取跡地（湖のような池）があり、水深が 40mを越えるところもある。堀跡の池の水は、見た目はとてもきれいだが、栄養源が少なく河岸から急に深くなっているため生物的には良い環境とは言えないが、人間の利用水面としては可能性の大きい場所となっている。(既に有名なビーチとなっていて、湖水浴やヨットのクルージングなどに利用されているところもある。)

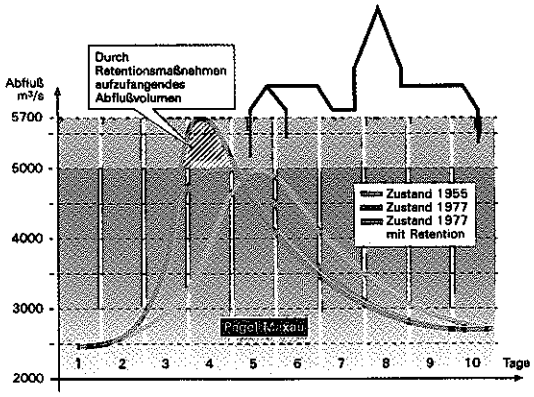


写真－１　砂利採取状況（中央に浚渫船）

Photo 1　Gravel Removal (dredging vessel is in the center)

図－9　ライン川沿いの砂利採取跡地

Fig.9　Areas Along the Rhine River Where Gravel Was Removed



図－10　カールスルーエにおけるハイドログラフ[5)]

Fig.10　Karlsruhe Hydrograph (ref. no. 5)

3．ライン川総合治水計画

前述したように、1800 年以降の河川改修などにより氾濫原が減少したため、下流域で洪水が頻発するようになった。ライン川総合治水計画では、氾濫原の復元及び保全によって、ライン川上流域における洪水調節機能を回復することを目指している。その洪水調節容量をどこで確保するかをドイツ、フランス両国で協議した結果、左岸のフランスで５千５百万m^3、右岸の Baden-Württemberg 州で１億７千万m^3、下流の Rheinland-Pfalz 州で４千５百万m^3という配分が両国の間で合意された。

Baden-Württemberg 州では、この容量を確保するために、ほとんど水の流れのなくなっているライン川の旧河道や氾濫原等を利用した 14 の施設（自然の復元も並行して行っている）を計画している。現在、州職員が精力的に地元との交渉に当たっている。

一方、フランス側は、既存の運河の堰を使って容量を確保する計画のため、比較的容易に施設の改善で対応できる模様である。

図－10 に示したのは、カールスルーエにあるマクサウ水位基準点での 200 年確率の雨に対するハイドログラフである。1977 年時点の毎秒 5,700 トンを 1955 年時点の毎秒 5,000 トンにまでピークカットする計画である。これは、水位にすると 50～55cm に相当する。

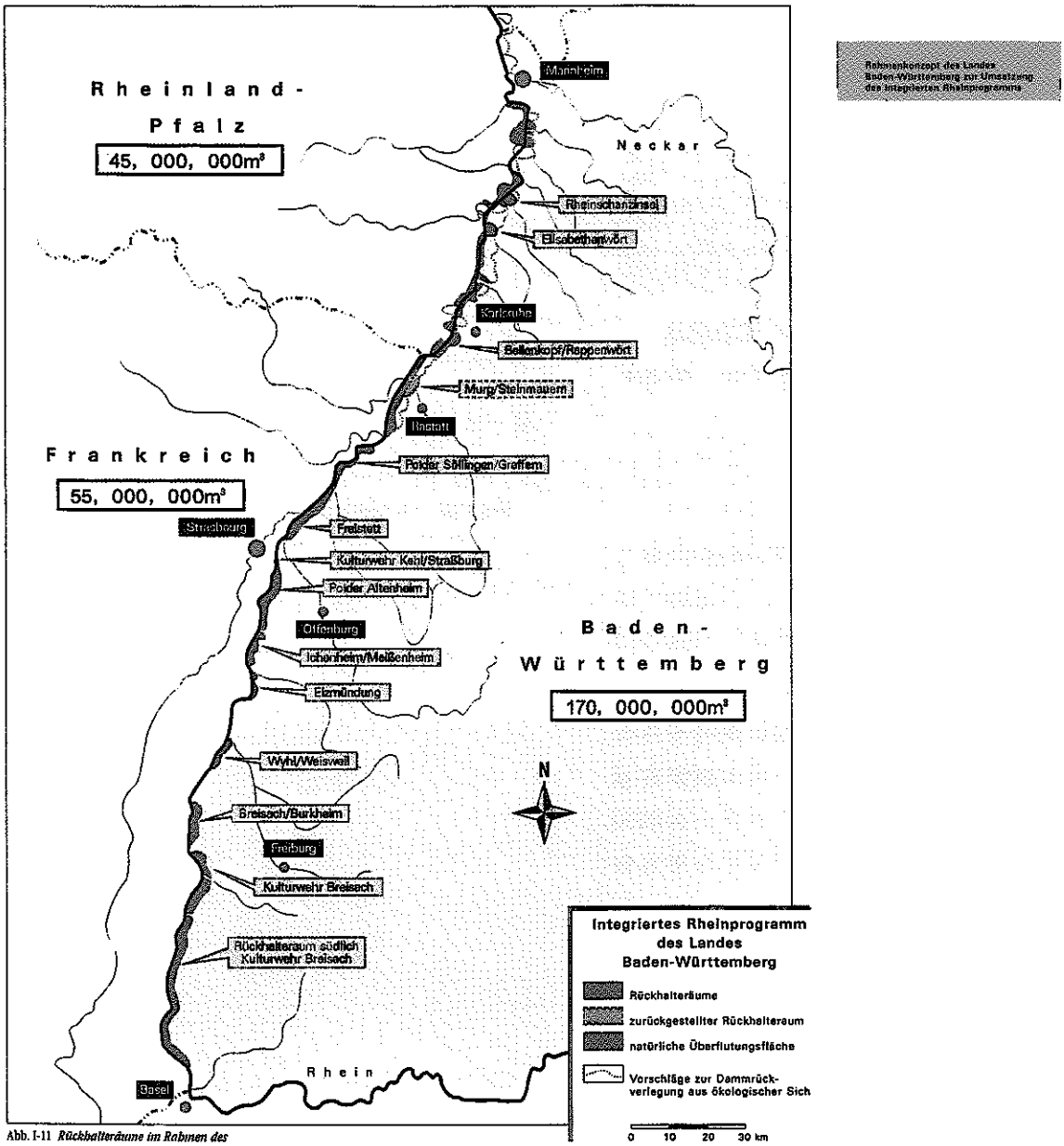


Abb. I-11 *Rückhalteräume im Rahmen des Integrierten Rheinprogramms Baden-Württemberg*

Nr.	Rückgutgebiet	Typ	Nutzfläche	max. Nutzungsvolumen	Projektphase	Kosten min.*	Kosten max.*
			ha	Mio m³		Mio DM	Mio DM
		タイプ		容量			
1	[illegible]	Vorland-tiefenlegung oder Wehr	[illegible]	25,0	[illegible]	52	[illegible]
2	[illegible]	Wehr	[illegible]	9,3	[illegible]	42	[illegible]
3	[illegible]	Polder	[illegible]	6,5	[illegible]	52	[illegible]
4	[illegible]	Polder	[illegible]	7,7	[illegible]	61	[illegible]
5	[illegible]	Polder	[illegible]	5,3	[illegible]	42	[illegible]
6	[illegible]	Polder	[illegible]	5,8	[illegible]	46	[illegible]
7	[illegible]	Polder	[illegible]	17,6	[illegible]	25	[illegible]
8	[illegible]	Wehr	[illegible]	37,0	[illegible]	45	[illegible]
9	[illegible]	mittlerer Polder	[illegible]	9,0	[illegible]	56	[illegible]
10	Söllingen/Greffern	Polder	[illegible]	12,0	[illegible]	73	[illegible]
11	Murg/Steinmauern				zurückgestellt		
12	Bellenkopf/Rappenwört	Dammrückverl. oder Polder	510	14,0	vorgeplant	61	68
13	Elisabethenwört	Dammrückverl. oder Polder	400	11,9	vorgeplant	35	46
14	Rheinschanzinsel	kleiner Polder	210	6,2	vorgeplant	23	23

Abb. I-13 *Lösungsvorschlag für die IRP-Maßnahmen* 合計 167.3 百万m³ *Stand 1991/92

タイプ　Wehr：堰（灌漑堰）
Polder：遊水池（ポルダー、直訳は輪中）
Dammruckverl：引き堤
Vorlandtiferlegung：河川敷の掘削

図－11　Baden-Württemberg 州の遊水池計画 [5)]

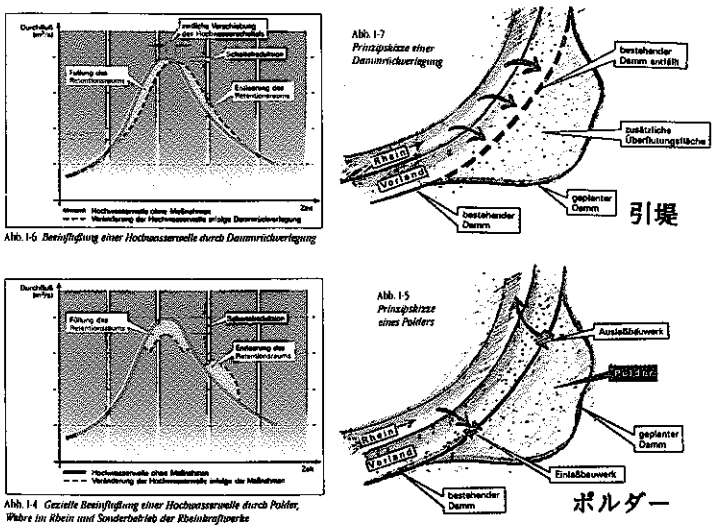
Fig.11　Baden-Württemberg Retarding Basin Plan (ref. no. 5)

洪水調節の方式としては、Wehr（堰）、ポルダー、引堤などがある。

Wehr（堰）は、本川に設置される比較的堤高の低いダムであり、洪水調節容量を持つものである。

ポルダーは、ライン川に隣接した洪水調節池で、周囲堤、囲ぎょう堤を設けて、水門により洪水調節を行うものである。ポルダーは水門の操作により取水及び排水の量と時間をコントロールすることができるため、洪水時のピークカットを効率的に行うことが可能である。

引堤は、既存の堤防を大幅に引堤し、遊水効果により洪水調節を行うものである。ポルダーと比べると、洪水のピークカットの効率は落ちるが、氾濫原内は自然に近い冠水状況を呈するので、自然環境の復元の観点からは、望ましい方式である。

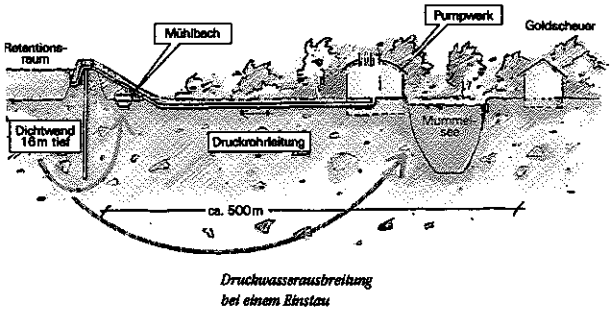


図－12　引堤とポルダー[5)]

Fig.12　Backward displacement of Levee and Retarding Basin (ref. no. 5)

調節池の水位が上昇すると、周辺の地下水位が上昇し周辺農地などに影響が出るので、その対策として、地下水位を下げるための池とポンプ場を設置している。

アルテンハイムポルダーでは、地下水位低下用に 7.95m³/s（2.65m³/s ポンプ×3台）のポンプが設置してあり、このポンプにより、洪水時の地下水位を地表面下-1.5～-2.0mに保つことができる。このポンプを使わないと-20～-30cmまで地下水位が上がってしまう。



図－13　周辺地下水位低下用ポンプ[7)]

Fig.13　Pump Equipment for Lowering the Groundwater Level (ref. no. 7)

氾濫原は、流域の5～10%の面積を占めるが、流域に生息・生育する生物の内 40～50%の種が生息しており、生物多様性が大きい。これは、洪水等による冠水など自然のダイナミズムに支えられている。

ここでは年1回程度の人為的な ecological flood（水深2.5m）を実施している。

ここの調節池は、6～7年に一度満杯になる洪水調節容量となっている。

ポルダー内の水路には洪水時だけでなく常時もライン川から導水することにより、導水開始から数年で、氾濫原の動植物が復元しつつある。

写真－2　ポルダー内に復元された氾濫原の環境

Photo 2　Environment of the Restored Flood Plain in the Retarding Basin

Kulturwehr Kehr/Strassburg は、本川にある堰で洪水前の予備放流と洪水ピークカットのために２度のゲート操作が必要となる。操作の基準は以下のとおりである。

Kehr 水門での流量Q＞2,800m^3/s

↓yes

ゲートを全開して予備放流

↓

Kehl 水門での流量Q＞3,800m^3/s かつ

基準点（Karlsruhe）の予想ピーク

Q＞4,200m^3/s

↓yes

ゲートを操作して洪水調節

水門のあるケールの流量が毎秒 2,800 トンを越えると、堰のゲートを全開し予備放流を開始する。その後も流量が増え、ケールでの流量が毎秒 3,800 トンに達した時点で、治水基準点である下流のカールスルーエでのその後のピーク流量を予測し、予測が毎秒 4,200 トンを越えると判断された場合、ケール堰のゲートを操作して、人為的な洪水調節を開始する。なお、ケールからカールスルーエ間の洪水到達時間は約２～３時間である。

洪水時のピーク流量は、カールスルーエにある州の洪水予測事務所で予測し、洪水時のゲート操作の判断はラールの南上ライン・高ライン河川管理局で行っている。

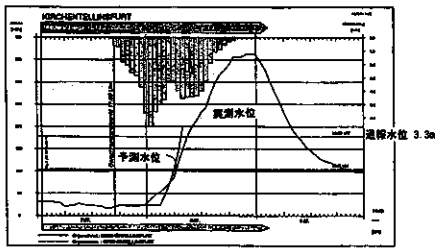


Fig. 3: Measured discharge and a single operational discharge forecast from July 7, 5 pm, based on the 48 hours precipitation forecast for the gage Kirchentellinsfurt/Neckar (catchment area of 2.321 sqkm)

図－14　ライン川支流での流量予測例 [8)]

Fig.14　Discharge Prediction for Rhine River Tributaries (ref. no. 8)

４．おわりに

今回の視察では、自然をいかした河川改修を先進的に行っているドイツにおいても、過去には、水力発電、航路維持、洪水対策などのために、河川の自然環境は大きく改変され、著しい場合には、本川の水のすべて利水目的に使用し、本川に水が流れなくなったり、氾濫原が大幅に減少してかえって洪水が頻発するようになるなど、多くの経験を積み重ねて、現在のような河川整備・管理の考え方が定着したということがよくわかった。氾濫原を復元することにより治水対策を行うこと、氾濫原の自然復元のために、ecological flood を行っていること、流域の地下水管理まで積極的に行っていることなど学ぶべき点が多く、今後、日本においてもこのような施策を推進していく必要があると感じた次第である。

最後に、本調査にご協力を頂いた Baden-Württemberg 州の関係各位に深く感謝申し上げる次第である。

＜参考文献＞

1) ライン河の文化史、小塩節、講談社学術文庫
2) ライン河紀行、吾郷慶一、岩波新書
3) Veranderungen der Auelandschaft am Oberrrhein（州資料）
4) Materials of WWF Floodplain Institute, Dr.Rast（河道の変遷資料）
5) Rahmenkonzept des Landes Baden-Württemberg zur Umsetzung des Integriertten Rheinprogramms（州資料）
6) Das Integrierte Rheinprogramm Hochwasserschutz und Auerenaturierung am Oberrhein（州資料）
7) Die Grundwasserhaltung in Kehl-Goldscheuer（州資料）
8) Materials of Flood Forcast Office
9) ドイツ視察報告書、池内幸司、浅利修一、北田健夫、原田圭助、リバーフロント整備センター