

1. 寄稿文

本文は、多自然型川づくりシンポジウムでのゲルハルト・ルーベ教授記念講演（平成3年7月25日，リバーフロント整備センター主催）を和訳し、とりまとめたものです。

ドイツにおける多自然型河川づくり

ドイツ・アーヘン工科大学教授

ゲルハルト・ルーベ

先程の山口氏の講演に対して称賛の意を表したいと思います。内容は全ては理解できなかったものの、写真、スライド等を見ます限りでは、日本では多自然型河川づくりは非常に高い水準に達しているのではないかという印象を受けました。

さて、本日の講演のタイトルは「ドイツにおける多自然型河川づくり」です。講演の内容は、多自然型河川づくりの理由。過去10年間余の私共の研究室での研究の成果、河川の多自然化に我々には何が出来るか、そして最後に、実際のプロジェクトとして現在計画中のプロジェクトの例をあげてお話します。

最初の主題では、多自然型河川づくりのいくつかの理由についてお話します。ヨーロッパでは19世紀には食糧生産の需用が拡大されたため川の改修工事が行われました。また一方、1900年頃からは地下深度の深い所から石炭の採掘が開始されました。さらに40年前頃から、石炭の大規模な露天掘りが開始されました。これらの施策は工学的な判断によってではなく、政治的な決断によるものでありました。

二番目の主題では我々の研究の結果の一部を紹介します。この結果に我々は非常に驚かされました。その実験の結果はそれまで流体力学と水理学では知られていない内容だったからです。我々は先ず直線的な複断面水路の流れから始めました。（しかし、直線的なものを実験に使用しても川を直線的に造るということではありません。）その次に短い映画を見て頂きながら我々が行った実験を説明します。その後、蛇行している川の実験の説明、そして最後にその実験結果の応用について説明を致します。

まず、我々の研究室では主に貯水池の設計、水力発電所、河川改修工事、水の汚染処理、そうして地下水に関しても重要な研究を行っています。

それでは最初の主題の最初の項目に入ります。19世紀のドイツではライン川の

ような大きな川にはまだ10キロもの幅の広い高水敷、いや氾濫原がありました。河川は全て蛇行しており、低水路もありました。人々はこの氾濫原に住む事は出来ず、その一帯では農業もほとんど不可能でした。従って、当時の人々はみんな地盤の高い地域に住んでいました。

我々は当時の人達が置かれていた事情を理解する必要があります。人口増加のための、食物の需要も拡大したので、この一帯に人間が住み食物生産を行うためには高水敷・氾濫原を洪水から守る必要があったのです。そのために、堤防が造られたのです。

再自然化が考えられた二つ目の理由は、地盤の深い所から石炭が採掘された事です。地下約500メートルから1,000メートルの深さに質の高い石炭がありました。この石炭が採掘されますとその一帯が沈下します。しかし、川の水位はあるレベルに保たれないといけません。従って、水位を保つために堤防の建設となったのです。また地盤沈下にもなって順次橋を架け直す必要があったのです。一方、河川も雨水と共に下水を含む排水も流す必要があったため、横断面は小さく摩擦も小さくしなければいけませんでした。また、地下水が汚染されないよう不透水性のコンクリートの膜を張る必要があったのです。石炭採掘にもなって起こったこれらの衛生問題も大切です。たとえば地盤沈下のため全ての下水管も破壊されてしまいました。私が今話している地域はルール川地域です。ルール川は世界中で知られている川であり、ドイツの工業地帯のルール地帯を流れています。これらの問題の解決方法とその説明はその主題に移った時にもっと具体的にお話しますが、次のプロジェクトに移る前にもう一度ここで言うておきたいのは、こうした事態を招くことになったのは、工学者の誤りによってではないと言う事です。石炭の採掘は政治的決断の結果であり、これらの問題はこの決断によって起こった事でもあります。

テレビや新聞のレポーターや記者達は、よく「間違った解決策」と題し批判的な記事を書きます。日本でもこのような問題があるかも知れません。しかし、彼らがこれらの工学的な解決策の本当の理由を調べていないことが多いのです。もし調べていたのならば、個々の事業に対しての工学的な解決策は、当時もっとも

適切であった事が分かるでしょう。

また、石炭の露天掘りも再自然化の技術のきっかけとなりました。オープンカット・マイニング、つまり石炭の露天掘りの対象となる石炭は非常に質が低いのですが、ドイツでは量的に非常に豊富です。石炭は海拔-500メートル、地下700メートルの位置にありますので、600、700メートルも地下水を下げる事は工学の面では非常に大きな問題となりました。そして、露天掘りをしたあとの状態を地表、地下をも含めて元に戻す、あるいはより好ましい状態に戻すという問題が重要となっております。

それでは、次の課題、河川に係わる事柄に入ります。ほとんどの場合、多自然型河川改修工事を行うと流水に対する摩擦が増えます。それは必然的に治水上重要な問題となりますので、水理学的な検討をしておかなければなりません。我々は三つのモデルを使って研究を行いました。最初のモデルは直線型水路、二番目のモデルは蛇行型水路、そして三番目のモデルは自然そのものです。最初の二つのモデルを使って行った実験によって流水に関する抵抗則の推論を行い、これらを原型モデルと比較しました。

今日出席なさっているエコロジストの皆さんに言いますが、直線的な河川を造り植生や植林を行う事など工学者は考えていません。このような実験は流れを支配する法則性を求めるためのものなのです。このような実験を行うと植生がいかにかエネルギーの損失を大きくするか、言いかえれば流れを妨げるかが分かるのです。

8年程前、我々は当時では説明できない実験結果を得ました。これについて先ず少し説明をしましょう。

除々に流量を増加させ、水が低水路と高水敷の両方に流れた場合と、高水敷を壁で分離させて低水路のみに水を流した場合は低水路のみに水を流した方が、同じ水位でもより多くの流量を流すことを示しています。我々は4週間かけて調べましたが、同じ水位状態で、なぜ高水敷をも含めた大きい横断面の流量が低水路だけの小さい横断面でのそれよりも少ないかという事実を説明出来ませんでした。実は、この理由は渦運動のためだったのです。高水敷から低水路へ大きな質量輸

送が発生し、連続の方程式によって逆に低水路から高水敷への質量輸送も発生します。この相互作用によりできる渦がメインの水路での大きなエネルギー損失を発生させるのです。低水路での流れを妨げるのです。

我々は研究室でこの干渉の頻度を測定する小さな器具を開発しました。そのデータの測定はとても簡単な装置、小さなゴム製の舵を使用して毎週行われました。また、この実験に加え、我々はレーザー・ドップラー流速計を使用して速度の測定を行いました。こうして、我々が最初に理解できなかった点、つまり低水路だけの流量は低水路と高水敷の複断面の流量より多かった事、この現象は渦の相互作用によって低水路の速度が減る事で発生することをつきとめたのです。7～8年程前のことです。

もうひとつ驚いた結果が得られました。実際には高水敷の遅い流れは低水路の速い流れを引き戻すように作用し、また前述した渦をも生じさせます。これらが高水敷の流れと低水敷の流れの境界で摩擦を生じさせています。

もし植生の密度を増加させてゆくと、低水路と高水敷の境界での抵抗係数は増加してゆきますが、ある程度以上植生の密度が大きくなると、逆にこの抵抗力が低下することです。この原因は簡単に理解する事が出来ます。もし植生の密度が高すぎると高水敷では水はほとんど止ってしまい、低水路と高水敷の間の質量輸送が行われなくなるからです。

さて、このような河道での流れを扱うためには、工学技術者が実際に応用できる抵抗則を得るための解決策が必要でした。私は今は教授ですが、常に工学技術者である事を意識しており、実践的な問題との係わりを保とうと努めています。説明するまでもありませんが、冬期より夏期の方が抵抗力が強い事です。

これまで話したことから、流れの疎通能力をあまり下げないためには、低水路と高水敷の干渉をできるだけ少くし、かつ低水路、高水敷の流れをそれぞれ独立に流しうるような植栽の仕方などが工夫できるかもしれません。

それでは、次の模型、つまり蛇行型の川について話しましょう。広い高水敷の内を蛇行した低水路が走っている場合です。高水敷に水が上がると、低水路内の一次元的な流れ又は主流と二次流れが得られます。これらの測定を行うため、

我々は再びレーザー・ドップラー流速計を使用しました。流れの状況を分析する事は非常に困難であります。その理由は低水路には二次流れがあり、それと共に高水敷からの主流が重なっているからです。我々は主流の速度分布と二次流、そしてレイノルズの応力分布も測定する事が出来ました。私共は乱流や抵抗を詳しく検討していますが、ここでは詳しいことは除きましょう。

さて、次は第三題目に入ります。これは「我々に何が出来るか？」と題しました。

2年前からカールスルーエ近くの、我々が係わってきたプロジェクトについてお話します。15キロ程の川の一部にある河川水力発電所の下の水の流れの測定等を行いました。この領域で現在再自然化が計画されている16キロの1帯の内、再自然化が実際に可能なのは14キロ位です。特に注目して頂きたいのが、黒い森（シュヴァルツヴァールド）から流れるライン川への支流です。どんな対策又は解決策が可能でしょうか？

メインの水路へ向かって配置されているいくつかの支流と主流との合流点の現在の姿と将来的に可能な姿を比べて見ましょう。

我々は80cm以下の余裕高を持つ堤防と支川の堤防を取り除いた場合を想定しました。もちろん今の段階では実際に取り除くのではなく、計算上どのような状況になるかを水理学的に評価するのです。この計算は、連続の式と運動量方程式（運動量の拡散、分散、乱流、レイノルズ応力）を考慮した2次元解析によって行いました。こうして、2次元の数学的モデルを使った、乱流を考慮した速度分布で現在と将来的な可能な姿の違いが比較されます。

数学と計算にあまり興味を持たないエコロジストの皆様に御説明しますが、ドイツのエコロジスト達は我々が計算して得た結果を完全に理解しています。

もし将来この大きな支川の堤防を取り除けば、エコロジスト達にはあまり歓迎されないかなりの速度の場が発生することがわかります。

われわれには何が出来るかという問題に関連して、石炭の露天掘りの話題に戻ります。露天掘りの場合、たとえば、長さ約10km、巾3～4km、深さ170mといった大きな穴が掘られます。この穴の一方の石炭層から石炭を採り、残土は他方に

埋め戻されてゆきます。したがって、10数年にわたって穴が移動してゆくのです。この穴は村、高速道路、鉄道などを呑み込んで進みます。それらの施設は別の場所に移さないといけません。こうした工事の場合、当初に高さ150mの人工の山が作られますが、その山は自然に近い状態にされます。池を配したり、山中にも湿地帯も考えられます。また、埋め戻されて再び戻って来る大地は以前と同様の牧場に再生され、最後に残る穴は地下水が戻って湖となりますが、これも自然に近い状態に再生されるのです。このような施策をするための技術も、多自然型河川工法に大きな影響を与えました。私共の研究室では、大地を元の状態に戻すためには、地下水の流れがどのようにでなければならないか、どのような土質をどのように配しながら埋め戻してゆくべきかの解析を担当しています。

さて、他の例と解決策を取り上げましょう。先程言ったように、深層の石炭の採掘によって20メートルも沈下した所もあります。このように地面が沈下する場合、何ができるでしょうか？

ひとつの対策として家屋を取り除き窪みを土で埋めやるやり方があります。又は家屋を取り除き、その部分をそのまま残して、この一部を水浸しにしておく事も出来ます。又は、家屋をそのままにしておいて、この一帯の水をポンプで新しい川に移すことも可能です。こうすれば、当然堤防が空いた側に多自然型植生を植える事も出来ます。そして最後の対策として住宅地域を残し、ポンプステーションを設置して川を取り除き、別の場所に移動することも可能です。

今度は「内陸航行運河」と題されたもうひとつのプロジェクトについてお話をします。北海、ライン川、ドナウ川、そうして黒海とつながるライン・マイン・ドナウ運河の一部です。この内陸運河は山を越えて流下する形をとっています。50年程前にこの運河が、設計されたなら非常に簡単な横断面を使用したでしょう。しかし、その後我々は色々な事を学び、さらに改良したいという気持ちがありました。そこで、この運河の両側に池を数々設計しました。これらの全てのプロジェクトは生物学者、景観設計技師、そしてエコロジストとの緊密な関係を保ちながら設計、計画等を行いました。われわれは、このようなプロジェクトに貢献したいという専門家がいたらどなたでも歓迎しますが、専門家と称しながら実

行する意志がない人達と話す気は全くありません。

私の今日の話の内容があまり悲観的な印象を与えたのではないことを望みますが、私は工学技術者として公共福祉に出来るだけ貢献いたしたいと思っております。

以上で、私の講演を終わらせて頂きます。最後に非常に有能な二人の通訳の方達にお礼を申し上げます。御静聴どうもありがとうございました。皆さま、さようなら。

講 演 名：多自然型川づくりシンポジウム

開 催 日 時：平成3年7月25日（木）12：30～16：50

開 催 場 所：全共連ビル4F大会議室

講演者紹介

ドイツ・アーヘン工科大学教授

ゲルハルト・ルーベ

- 1927年 ドイツに生まれる。
 - 1948年 カールスルーエ工科大学入学（土木・機械工学）
 - 1957年 工学博士
 - 1958年 トルコ共和国での水工学分野の技術指導
 - 1962年 インド工科大学教授、水工学研究所長
 - 1971年 カールスルーエ工科大学土木工学科客員教授
 - 1972年 アーヘン工科大学教授、水理水文学研究所所長
 - 1980年 アーヘン工科大学土木建築学部長（～1982年）
- 現在に至る。