

第12回国際水理学会議および国際水文学

シンポジウムに出席して

石原 藤次郎・芦田 和男

SOME TOPICS ON THE TWELFTH CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR HYDRAULIC RESEARCH AND THE INTERNATIONAL HYDROLOGY SYMPOSIUM

By Dr. Eng. *Tojiro* ISHIHARA and Dr. Eng. *Kazuo* ASHIDA

Synopsis

In this paper, some topics on the Twelfth Congress of the International Association for Hydraulic Research and the International Hydrology Symposium held in Fort Collins, Colorado, U.S.A. on September 1967 where the writers attended are reported.

1. は し が き

1967年9月6日～14日、米国フォードコリンズのコロラド州立大学において、第12回国際水理学会議 (Twelfth Congress of the International Association for Hydraulic Research, 略 I.A.H.R.) および国際水文学シンポジウム (International Hydrology Symposium, 略 I.H.S.) が開催された。I.A.H.R. の会議は2年ごとに開催され、水理学研究の発展と研究者の国際親善の上で大きな役割を果たしてきたことは周知の事実であるが、I.H.S. は水文学と水理学研究間の相互理解をはかるとともに、水文学における新しい科学的 idea や研究方法の推進をうながすことを目的として今回とくに持たれたもので、International Association for Scientific Hydrology (I.A.S.H.), UNESCO, World Meteorological Organization (W.M.O.) の国際機関や米国内の多数の関係機関が後援した。

I.A.H.R. の出席者は世界39ヶ国約500人、I.H.S. の方は32ヶ国約250人であった。このうち日本からの出席者は総勢20余名で、米国・カナダについて第3位であって、研究発表や討論、さらに国際親善にそれぞれ活躍した。

日本からこのように多数の出席者があったことは、水理学関係の研究者の層が非常に厚くなってきたこと、さらにそうしたことから日本が次期(1969年)開催国を希望しており、同じように希望しているイスラエルやトルコと競合してどこになるかが今回の会議で決定されるという事情もあって、会議に対する関心が非常に高まっていたことにもよるものであった。

著者らも今回の会議に出席する機会を得たので、ここに会議の情況と Technical Session の内容を概括して、今回の会議にあらわれた水文学および水理学の研究の状況とその趨勢の一端を述べたいと思う。もとより会議の内容は広範多岐にわたっているので、その全貌を適切に伝えることは非常に困難であるとともに、またその趨勢を簡単に判断することは危険でもある。したがって、これから述べようとする報告は、あくまでも著者らの主感によるものであることはいうまでもない。しかし幸いにも今回の会議には日本から多数の出席者があったので、これらの方々から適宜その報告がなされるものと考えられるので、それらを総合

的に御判断願えれば幸甚である。

2. 会 議 の 情 況

(1) 開 催 地

開催地コロラド州立大学のあるフォートコリンズの町はデンバーの北約60マイル、ロッキー山脈の麓にある人口約39,000人の典型的な西部の小都市である。非常に静かで清潔な町で、大学以外にめばしいものもなく、学園都市として非常に好ましい雰囲気を持っている。コロラド州立大学は1870年に設立されたもので、現在発展途上にあり、学生数も14,000人にのぼっている。ここで研究したり、訪れたことのある日本人は大勢いて、このことは比較的良好に知られている。著者がここを訪れた3年前に較べて、main campus 内は非常によく整備されており、発展しつつあることが如実に感じられた。なお、main campus から3マイルほど離れた Foothills Campus に Engineering Research Center があり、水理関係の研究はここで行なわれている。

会議は main campus 内の学生センターで行なわれたが、参加者の大部分は、campus 内およびその近くの学生宿泊所に泊まり、会議場に通った。こうした開催地の地理的・社会的環境のせいもあって、会議の出席率はきわめて良好のようであった。

(2) 会 議 の 日 程

会議は Table 1 に示すような日程で進められた。

Table 1 Programs

September, 1967

	6th	7	8	9	10	11	12	13	14
	I. H. S.						I. A. H. R.		
Morning	Opening Session.	T. S.	T. S.	Wee kend Tour	Wee kend Tour	Opening Session T. S.	T. S.	T. S.	T. S.
		S. L.*					S. L.**	S. L.***	
Afternoon	T. S.	T. S.		to Bureau of Reclamation	to Rocky Mountain	Visit to the Engineering Research Center	T. S. (Semi nar)	T. S. (Semi nar)	
Evening	General Reception	Western Barbeque Supper	Clossing Session and visit to the Engineering Research Center			General Reception	Cultural Event	Banquet	

T. S. : Technical Session

S. L. : Special Lecture

* Significance of Chemistry in Water-Well Development by Frank Clarke (U. S. A.)

** Turbulence and Diffusion in Hydraulic Problems by Arthur T. Ippen (U. S. A.)

*** River Hydraulics by Daryl B. Simons (U. S. A.)

(3) 会 議 の 模 様

I. H. S. の Opening Session では、コロラド州立大学の副学長の Chamberlain やユタ州立大学工学部長の Peterson が歓迎の辞を述べるとともに、大学の現状や米国における IHD program を紹介した後 I. H. S. secretary の Tison が開会を宣言して直ちに Technical Session に入った。一方 I. A. H. R. では、コロラド州立大学の学長などの歓迎の辞につづいて Escand 会長が開会を宣して、直ちに Technical Session に入った。Technical Session は一般報告者方式で進められた。座長が一般報告者と論文提出者

とを紹介した後、一般報告者が予め印刷して出席者に配布しているレポートに従って説明し、その後で討論を行なう。一般報告者のやり方は人によりまちまちで、提出された論文にコメントをつけて紹介しているもの、さらに研究の流れを分類して、それぞれの論文の位置づけを行なっているもの、論文の紹介は簡単にカタずけて自分の考えだけを強く主張しているものなどあり、一般報告者の役割の重要性が感じられた。討論は非常に活発であったが、質問に答えず、自分の考えを一方向的に主張しているものが多かった。

I.H.S. の会議は英語だけで進められたのに対して、I.A.H.R. の方は国際語の英語とフランス語が用いられ、人数も約2倍になり、国際的に名前をよく知られた人達も数多く出席しており、会議の雰囲気もかなり異なっていた。

会議中に開催される各種の Social Event や Tour は、Technical Session と同様非常に重要な役割を演ずるものである。出席者一同こうした点にかなり積極的ではあったが、言葉の障害で、その活動がいちじるしく制限されたことは事実であって、やむを得ないことではあるが、残念であった。しかし例外はあって、非常に活躍された方もおられたことを申し添えておく。

なお日本からの出席者は、石原、林、岸、岩崎、安芸、伊藤、本間、粟津、須賀、足立、岩佐、角屋、芦田、土屋、室田、田中、松梨、篠原の各先生方の他に、コロラド滞在中の杉尾教授および江利川氏などであった。

3. Technical Session

(1) I.H.S.

シンポジウムの主要課題は、次のようにA, B, Cの三つであり、提出論文は全部で82編（うちA:32, B:20, C:30）であった。それぞれの課題ごとに研究の方向を概括するとともに、特に印象に残った事項を述べよう。

課題A (New ideas and scientific methods in deterministic [parametric, dynamic, physical or analytical] hydrology)

この課題では、流域システム内における種々の現象を解析する各種のシミュレーションの方法が提案され議論された。流域内の水文現象は多くの要素に支配され、かつその中には十分な情報をえられないものも含まれている非常に複雑な現象である。われわれが現実に取り扱うものは、こうした複雑なシステムの内において現象に関係する主要な要素にのみ着目した、いわば抽出された現象であって、その解析法は何らかのシミュレーションの手法によることは当然である。提案された解析対象はいずれも流域システムであるが、これをさらに分類するとつぎのようになる。

(i) Run-off generating system (蒸発・蒸散・浸透・土壌の水文学的特性や降雨損失の問題が含まれる)

(ii) Run-off routing system (流域内および河道における routing の問題が含まれる)

解析の手法にも各種のものが提案されたが、Ven Te Chow の分類に従うと、

I. Mathematical simulation

(i) Lumped-system

a. Linear, b. Nonlinear

(ii) Distributed-system

a. Linear, b. Nonlinear

II. Laboratory simulation.

ここに lumped-system とは、解析対象とする区域の流域特性を一点における特性値で代表させ、この点への入力と出力との関係のみを解析しようとするもので、内部機構には立ち入らない。これに対して distributed-system は流域特性を空間的に分布させて、この内部における運動機構をも解析しようとするもので、その取り扱い是一般に連続式と流体運動の方程式を用いて行なわれる。しかしこの区別は明確につけがたく

たとえば流域を多くの小分割流域に分け、それぞれを lumped-system model であらわした場合には、全流域は lumped-system model の結合によって表わされるが、これは distributed-system model と考えられる。distributed-system model では水理学的な取り扱いが行なわれることから、必然的に粗度係数が重要な問題となって種々の議論が行なわれ、開水路において用いられる Manning の粗度係数を用いることができず、新しい流域の粗度係数を導入する必要性が強調された。

各種のシミュレーションの手法の比較検討、とくに nonlinear の影響の程度、lumped-system と distributed-system との利害・得失などを論議してはとの提案がなされたが、これについて突込んだ議論はなかったようである。

シミュレーションの一つの方法として人工的な流域を実験室内に作って研究する方法が取りあげられ、この方面の将来性が論議された。防災研究所宇治川水理実験所では4カ年計画で河川総合実験施設を建設中であり、今年度完成するが、これは流域および河道のシステムモデルを作製して人工降雨を発生させ、流域や河道内の諸現象を研究する、いわゆる laboratory simulation の方法を用いるものであるが、こうした点が論議されて非常に興味を感じた。

シミュレーションの方法は従来わが国でも注目されていないわけではないが、今回流域システムとしてのシミュレーションの取り扱いが非常に強調されたことは印象的であって、洪水防禦と水資源の開発など、流域システムに対して複雑な条件を持つわが国では、今後この方面の研究の重要性がますます増大するものと考えられる。ここには日本から岸の「流出解析に対する対数変換の利用」、菅原の「貯留型モデルによる流出と水収支の解析」、岩崎の「北上川の洪水予報」、角屋の「地下水流の解析と降雨損失」の論文が提出された。提案された流出解析モデルの多くは、表面流出のみを対象としているのに対して、菅原のは浸透その他も考えた特徴あるモデルであるとの評価であった。

課題B (New ideas and scientific methods in stochastic [statistical] hydrology)

降雨量・流量・貯留量や土砂堆積量などの水文諸量、河道配列などの流域の諸特性は、時間的・空間的に変動するものであって、それらの諸量の特性を検討するには stochastic な手法が必要になるが、この課題では、そうした問題がいろいろの角度から取りあげられた。

その内容を大別すると、stochastic process の水文学への適用法と適用された結果明らかになった水文諸量の stochastic な特性である。適用法としては解析モデルに関するもの、データの処理方法に関するものが主であって、特に後者の問題については、データの個数と精度との関係とともに、処理の方法によって結果が非常に異なってくることが示されて処理方法の重要性が指摘された。

1例として、月降雨量・年降雨量あるいは年流出量と太陽黒点数との相関を論じた Yevjevich らの論文を取り上げよう。解析は両系列の間の相互相関係数や相互スペクトルを調べる方法で行なわれ、両者の間には有意な相関は認められないとの結論であるが、この場合両系列においてそれぞれ移動平均を行なって平滑化した系列を用いると相関係数が増加するので、平滑化した系に対してもとの系に対する信頼限界を用いると相関があるという誤った結論を得ることを示し、データの処理方法の重要性を指摘していた。ただし、相関の有無については非常に多くの討議がなされていた。

一方、流域のシステムにおいて、入力である降雨を出力である流出に変換するものは流域の特性であって、この研究が重要であるが、河道配列など流域の geomorphologic な特性でもわかるように、stochastic な取り扱いを必要とするものである。これについての論文は、石原・岩佐・高棹の「河道配列に関する stochastic な研究」ともう1編あっただけで、非常に少なかったが、この方面の研究は今後ますます重要になってくるものと考えらる。日本からは石原らの論文のほかに、角屋の「水文諸量に関する stochastic な考察」、菅原の「水資源の変動」、室田の「貯水池堆砂量予知に関する stochastic な手法の提案」などの論文が提出された。

課題C (Simultaneous application of scientific methods of deterministic and stochastic hydrology)

課題Aで論議された deterministic な手法とBで論議された deterministic な手法との同時適用の問題である。実際には、確率分布を持った入力を deterministic な変換特性を通じて確率分布を持った出力に変換するという立場から取り扱われているものが多かった。これは実際のシステムになり近かく、それだけに貯水池計画や洪水処理計画などの実際的な問題を取り扱ったものもかなりあった。しかし、上述の変換特性には多くの deterministic な要素のほかには不確定な要素もかなり含まれている。したがって変換特性についてさらに研究を行ない、deterministic な要素の上に stochastic の要素を付加して現象をより忠実に表現していくことが、今後における水文学上の重要な課題であろう。いなそれは水文学における終局の目標ともいえよう。日本から石原(安)・長尾の「洪水防御計画に対する洪水超過確率」の論文が提出された。

(2) I. A. H. R.

Technical Session の主要課題は、次のようにA, B, C, D の四つであり、Seminar として、

- a. Hydrodynamic forces and responses in hydraulic equipment for large dams and other structures
- b. Ice effects on the flow in rivers and reservoirs including pressure on structures.
- c. Possibilities and limitations of computations in coastal engineering.

が取り上げられた。

ここでは Technical Session について述べる。提出論文は160編（うち A : 60, B : 43, C : 39, D : 18）であった。

課題A (River hydraulics)

river hydraulics は水路の形状が複雑であること、水流の境界条件を与える河道が移動床であって、水流と境界との間に相互作用が存在することの2点に特徴があって、この意味でとくに river の字がつけられているものであろう。したがって、ここでも河床粗度、水路の形状と不規則な変化、2次流の役割などが論議された。まず河床粗度では、実際河川の測定、実験や理論解析などにより、沖積地河川の河床形状・流速分布・流砂量・粒度分布・底面摩擦などが明らかにされ、さらに各種の抵抗法則式が提案された。考え方は各種各様であるが、Einstein 流の各粗度要素に分割する考え方が一つの流れをなしているように感じられた。以上のように非常に多くの抵抗法則式が提案されているので、それぞれの比較検討を行ない総合的に評価することが、今後の進歩を期待するうえに必要であろう。第2の水路の形状と不規則な変化では、種々の形状の水路に対する径深やエネルギー補正係数の再評価、水面追跡などのように古くから取り扱われている問題から蛇行のスペクトル解析など比較的新しい問題まで、いろいろ論議された。さらに水流と境界面の相互作用が論議され、境界面の安定性の解析、砂堆や蛇行の発生機構、波状河床上の流れなどの論文が提出された。最後は2次流の役割であって、第一に2次流とは何かを論議され、信頼しうる資料を着実に積み重ねていくことの重要性が指摘されるとともに、彎曲部における2次流の特性が明らかにされた。

river hydraulics については、日本でも数多く研究されており、多数の論文が提出された。

吉川・椎貝・福岡の「河床粗度に及ぼす浮流砂の影響」、須賀の「彎曲水路における安定縦断形状」、足立の「流れの安定性に関する理論」、土屋・石崎の「砂堆の発生機構」、松梨の「急こう配移動床水路における河床面の形状」、村本の「彎曲水路の2次流」などの論文が提出された。

課題B (Macroturbulence and stochastic process in hydraulics)

この課題で論議された内容はつぎのとおりである。

- (1) スケールの大きい渦の流れの推計的な過程と macropulsation.
- (2) macroturbulent flow が河床および水理構造物に及ぼす影響
- (3) macroturbulence の測定法と測定結果の処理
- (4) 不安定現象の推計的解析と移動床水路の形状

macroturbulence とは何かについては、必ずしも明確な定義が与えられていないが、境界の形状によって支配されるスケールの大きな乱れと解することができる。こうした意味で(1)および(2)に対して、水理構

造物周辺のマクロな乱れや跳水内およびその下流における流速変動や圧力変動などを測定解析したものが多かった。さらに河川乱流のうち水路境界に支配されるようなスケールの大きな乱れに注目した論文もあったが、必ずしも *macroturbulence* に属さない乱れを取り扱ったものもかなりあって、*macroturbulence* の意味が厳密に把握されていないように感じられた。一方乱れの計測法や測定結果の解析法を論議した論文も数多く提出され、上述の研究と相まって、*macroturbulence* に関する研究が次第に進展しつつあるという印象を受けた。

一方(4)に示した移動床の問題に対する *stochastic* な解析法については、今回提出された論文は5編に過ぎなかったが、新しい傾向として注目され盛んに討議された。今後の発展が注目されることである。この課題について日本から、日野・四方・中井の「成層流中の大きなスケールの渦」、石原(安)・余越の「河川における乱れのスペクトル」、安芸の「余水吐に働く流体力の動的特性」、岩佐・今本の「小型流速計による乱れの測定」、芦田・田中の「sand wave の *stochastic* な特性」などの論文が提出された。

課題C (Erosion and local scour downstream from hydraulic structures)

この課題で取り上げられた研究対象は広範多岐にわたるが、つぎのように分類することができる。

- (1) 水門・流出口など構造物の下流における洗掘、
- (2) 水制・橋脚・円柱など構造物周辺における洗掘、
- (3) 河川の長区間にわたる洗掘。

取り扱いの方法は上の区分に従ってかなり異なる。第1のものはもっとも局所的であって、*wall jet* などの水理特性を用いて砂の移動限界や洗掘量を求めるという手法、洗掘限界や洗掘形状の実験結果に対する次元解析的手法などが用いられる。この際最も困難を感じる問題は、局所的な非平衡状態における土砂の移動量を表示する式が求められていないことである。第2のものは局所的な流れの上に平均的な流れの変化が加わる。このような場合の洗掘の機構は非常に複雑であるが、主として次元解析の手法が用いられていた。洪水時における洗掘が問題になるが、この場合最大洗掘深に到達する前に減水することも考えられる。したがって洗掘の速度が非常に重要になるが、これを支配する要素は何かについて論議された。第3の問題は局所的な問題ではなく、2次元的な土砂水理学的手法を用いて解を求めることができる。ここで問題になったのは、従来明確にされていない粒度分布が洗掘に及ぼす影響についてであった。すなわち混合粒径の場における洗掘においては、河床砂の粒径は次第にあらくなり、洗掘防止作用が働くが、これに関する若干の実験結果が提出された。

日本からは土屋・岩垣の「流出口下流の局所洗掘の機構」、田中・簗の「円柱のまわりの局所洗掘」、栗津の「水制のまわりの洗掘」に関する論文が提出された。

課題D (Microturbulent diffusion and dispersion)

この課題で提出された論文を分類するとつぎのようである。

(1) 縦方向の拡散

Elata は拡散係数に対する Reynolds 数・粗度の影響を検討し、Fisher は二次元水路に較べて河川では拡散係数は非常に大きくなるが、その原因は横方向の流速変化にあるとして、横方向の混合係数のみを考えて拡散係数を導いている。

(2) 浮遊粒子と粒子拡散

乱流中で大きい相対速度を持つ浮遊粒子の分布をエネルギー式から求めて Brown 運動との類推を行なった Sineltchikov の論文、粒子の時間速度は流体速度の粒子体積平均に相当するという仮定を Taylor の横拡散理論に適用して、粒子拡散に対する粒径の影響を論じた岩佐・今本の論文、浮遊粒子が存在するときエネルギー損失が減少する機構に関連して、粒子流中で乱れの自己相関係数を測定して、平均渦径の増加を実証した Müller の論文等が提出された。

(3) 横方向の拡散

管路の中心からトレーサーを連続的に流して一様になるまでの濃度変化や拡散係数の変化を論じた論文や

一様等方性乱れにおける群の二次元拡散を取り扱った論文などが提出された。

(4) 噴流拡散

水表面に水平に噴出される温水噴流の拡散を取り扱った林・首頭の論文、鉛直上昇噴流の乱流拡散を取り扱った室田・村岡の論文、噴流の拡散の stochastic simulation を論じた Quevedo・Bugliarello の論文が提出された。

(5) 成層流

内部境界面の拡散特性を論じた Sjöberg の論文、塩分の分布を解析した Harleman の論文が提出された。

この他、跳水用の乱流拡散、もぐり水門内の流れの拡散の問題や樋口の「潮流による拡散の模型実験」の論文が提出された。

4. む す び

今回の会議には、日本から多数出席して論文発表や討議に参加するとともに、国際親善にも大いに役だった。さらに次期 I. A. H. R. 開催国が日本に決定して諸外国の注目を集めた。こうしたことは、わが国における研究レベルが向上し、研究者の層が厚くなったことで喜びにたえないところであるが、反面会議を成功させ世界の水理学研究の発展に寄与すべき義務と責任を痛感するものである。

なお閉会式のとき、I. A. H. R. 理事会から新役員が発表されたが、日本からは林泰造氏が副会長に選ばれた。また次期会議の日程と課題は以下のとおりであることが予告された。

第13回 I. A. H. R. 会議

1969. 8. 31～9. 5 京都国際会議場において開催。

Technical Session

- 1) Simulation Techniques in Water Resources
- 2) Multi-phase Flows
- 3) Estuary Hydrodynamics
- 4) Hydrodynamics of Flows in Porous Media

Congress seminars

- 1) Supercavitation
- 2) Laboratory and Field Measuring Techniques in Research on Hydraulic Machinery and Equipment
- 3) Variation in River Morphology
- 4) Generation and Analysis of Random Waves

なお最終案は1968年4月に開催される理事会において決定されるはずである。

この会議を成功させるためには、わが国における水理関係研究者各位の全面的な御協力が必要なことは申すまでもない。