

■特集／流域の雨水管理に係る最近の海外動向

都市の雨水管理の動向～ICUD を振り返る～ 水量の話題を中心に

Current topics in Stormwater Management from an overview of 13th ICUD-quantitative aspect

キーワード：雨水管理、国際会議、水文、水理、都市、マレーシア



榊原 隆

Takashi SAKAKIBARA

国土交通省国土技術政策総合研究所
下水道研究部下水道研究官

1. はじめに

国際都市排除会議（International Conference on Urban Drainage、以下ICUD）は都市域からの排水、特に雨水排水に関する諸課題を扱う国際会議である。1978年の第1回会議から3年毎に世界各国の持ち回りで開催され、2014年9月7日から12日にかけて第13回がマレーシア東部のボルネオ島サラワク州の州都クチンで開催された。

ICUDは都市域からの主として雨水排水に関する最も権威があり内容も充実した会議であり、筆者は1984年の第3回会議より第4回、9回、12回を除いて毎回参加している。以上の背景から、ICUDの発表論文等からみた都市排水における最近の動向のうち、水量に関するものを中心に本稿において概説するものである。

2. ICUDの開催状況

今回の参加国は30カ国、参加者数は約500名、発表論文数は約300編であった。我が国からの参加者は21名、発表件数は15件で、大学関係とコンサルタントが中心であった。

ICUDの特徴として、以下4点が挙げられる。

(1) 水理・水文分野と水質分野の橋渡しが意図されている

ICUDの主催者は、国際水理学会（IAHR）と国際水協会（IWA）との合同委員会である。それぞれ水理・水文分野と水質分野を代表する国際学術機関である。都市の排水問題を解決するとは、排水の量と質をどう制御するかということに帰着する。しかしながら量と質の問題はそれぞれ別の専門家にゆだねられ、両者が意見交換する

機会が少なかったため、合同委員会が結成され、ICUDが始まったとされている。

第1回会議から30年以上経過した今、両分野の調和は進んでいるであろうか。学問的にはそれぞれの分野を掘り下げていく性格上、ますます細分化され専門外の人間からは見えにくくなっているように思われる。他方我が国の特に下水道関係施設にあるように、水量制御と水質制御の双方を目的とした施設がみられるなど、実務面では融合が図られているところもある。

(2) 専門分野の最先端の研究だけではなく、事例のショーケースもみられる

専門分野の会議は、最先端をになう研究者が多数集い、最新の発見、アイデア、ニュース等が競い合って報告される極めてホットでかつ緊張感あふれる場である。一方ICUDは最新の結果も披露されるが、広範囲な分野からの参加を許容しており、総論・総説のたぐいや事例発表も多くみられる。実務者の参加・発表を許すハードルの低さから、専門家からみて内容的には生ぬるく凡庸という評価も聞こえる。

ここで専門性をより高めるための活動としてICUDにはいくつかのワーキンググループが設置されており、セッションの設定もワーキンググループを意識したものとなっている（データとモデル、下水管きょ内での反応など）。なお我が国からはワーキングの参加状況は十分とはいいがたい。今後の充実を図って行くことが課題といえる。

(3) 研究者と実務者が意見交換する場である

前述のように、専門の研究者のみが集まる会

議ではなく、実務者による事例研究（ケーススタディ）も多数発表されている。我が国から産官学の幅広い層からの参加者を呼んでいるゆえんである。今後ともこの特徴が継続されることを望む。会議に参加することで研究者が実務者の抱える課題を知る、またはその逆が可能であり双方に大きなメリットが生ずる。我が国の参加者も異口同音にこのメリットを唱えているところである。

(4) 技術外のソフト分野（合意形成、制度）の件数の増加

専門技術外のソフト部門の発表が多くなってきている。ハードだけでは事業展開に限界がありソフトの力を借りなければならない背景、また学術的にも興味深い分野に育って来ているということと解される。

3. 水量分野の動向

(1) 概況

表-1 は、水量関係を中心とした発表論文 216 編について、大陸・国別および分野・セッション別に整理したものである。

大陸別にみると、アジア・オセアニアから 82 編、欧州・アフリカから 103 編、アフリカから 3 編、北米・中南米から 31 編となった。アジア・オセアニアのうちマレーシア 31 編、オーストラリア 27 編が、地元および近隣ということで多数を占めた。欧州・アフリカのオランダ、イギリス、ドイツ、デンマーク、フランスは常連国であり今回も多くの発表がみられた。前回第 12 回会議がブラジルにて開催されたこともあり、中南米からの発表数も目立っていた。なお我が国からの水量関係の発表論文については表-2 に示す通りである。

表-1 国別発表件数

セッション名	総発表件数	国別発表件数(主催者)																																		
		アジア・オセアニア(82)											欧州・アフリカ(103)										北米・中南米(31)													
		マレーシア	オーストラリア	中国	日本	韓国	台湾	インド	シンガポール	ニュージーランド	フィジー	パプアニューギニア	タイ	オランダ	イギリス	ドイツ	デンマーク	フランス	スウェーデン	ポルトガル	オーストラリア	スイス	ベルギー	スペイン	ポランド	南アフリカ	イタリア	チェコ	アメリカ	カナダ	メキシコ	ジュマイカ	コスタリカ			
1. 水文・水理データ、モデル、シミュレーション (83)	Urban Hydrological Processes	15	6	2	2									1	1	3																				
	Urban Hydrology - case studies	8	1	1				1	1							1	1											1				1				
	Hydraulic performance of urban drainage systems	14	1	1	1									2		2			1	1					1			1		1						
	Small scale storm characteristics and dynamics/ urban hydrological network design and data optimization	4	2																				1			1										
	Data collection	12	5		1											1	1	2							1				1							
	Urban flood modeling, forecasting and warning	13	2		1	1								1	1	1	1	1	1							1				1						
	Hydroinformatics-modeling and simulation of integrated urban water systems	12	1								1					1	2		1	2	2	2														
Real time control and decision support system / Hydroinformatics and knowledge information system	5	1														2			1				1													
2. 気候変動 (23)	Adaptation and mitigation towards water related area (disaster)	7	1		2										1	1								2												
	Urban heat island and microclimate change	1																																		
	Urban rainfall and climate change impact on rainfall extremes and urban drainage	15	1	2	1								1	1	1	2	1	1	1				1	1				2		1						
3. 排水システム・流域管理、雨水の貯留浸透と利用 (34)	Small scale stormwater systems	4	1	1										1	1																					
	Ponds, wetland, infiltration basins	9	1	1												2		1	1	1								3	1							
	Rainwater harvesting	4	2													2																				
	Operation and maintenance of urban hydrological network	3														1								1				1								
	Integrated urban water planning / Integrated water resources management from urban catchments to river basins	6	1					1	1						1								1		1											
Integrated modelling and assessment of urban water systems	8	1	1	1											2		1													2						
4. 低影響開発 (49)	Low impact development	37	3	11	1	2								1	3	1	3	1				1		1				4	2	2	1					
	Urban drainage and urban planning	12		2		1	1								2	2	1				1							1				1				
5. 組織、管理法制度 (27)	Urban water and societal response/ participatory, decision making and social / urban water management policy	5		1											1	1									1				1							
	Decision support system and modelling	11	1	2				1	1						2	1		1						1	1											
	Regulation and institutional frameworks / institution, legal issues and socioeconomic aspects / economics and life	4		1												1							1						1							
	Public perception and awareness / risk management	6		1												1	1	1	1		1															
	Water services and utilities	1														1																				
合計		216	31	27	6	5	3	2	2	2	1	1	1	1	14	14	13	13	12	6	5	4	4	4	4	3	3	2	2	11	7	6	4	1	1	1

表-2 日本からの発表論文（水量関係）

著者名	所属	論文名
Nagano et al	東京大学	Hydraulic model validation by electrical conductivity continuous monitoring data in Hue citadel drainage system
Lee et al	東京大学	Categorisation of catchment from the aspect of inundation by parameters of sub-catchment and drainage system
Arao et al	松江工専	Formulation on energy loss at three-way circular drop manhole under surcharged condition
Che Ros et al	東京大学	Absolutely homogeneity test and spatial distribution of precipitation trends in Kelantan river basin, Malaysia
Ozaki et al	関西大学	Flooding Characteristics of underground malls by flush flood in short time heavy rainfall
Matsuoka et al	(株)東京設計事務所	Method of development of drainage facilities to cope with localized torrential rainfall: a case study
Nakakura et al	(株)東京設計事務所	Study on stormwater drainage situation with due concern to rainfall conditions by using simplified evaluation curves for drainage capacity

分野別にみると、「1. 水文・水理、データ、モデル、シミュレーション」が83編、「2. 気候変動」が23編、「3. 排水システム・流域管理、雨水の貯留浸透と利用」が34編、「4. 低影響開発」が49編、「5. 組織、管理、法制度」が27編となっていた。論文数から判断して、課題が水文・水理といったオーソドックスな学術分野と、低影響開発といった今日的な話題に集中していることがわかる。

さらにセッション別にみると、「低影響開発」の37編、「都市水文過程」の15編、「都市排水システムの水理現象」の14編が多く、論文を集めた。以下これらセッションならびに「池、湿地、浸透施設」と「雨水利用」の各セッションについてみていく。

(2) 低影響開発

低影響開発とは、米国環境省の定義によると、雨水流出の発生源のなるべく近くで自然を用いて雨水を管理する土地の開発や再開発の手法である。グリーンインフラストラクチャ、Sustainable Urban Drainage System, Water Sensitive Urban Design も同種の概念や手法の総称と位置付けることができる。

本セッションでは、green roof, raingarden,

bioretention, biofilter といった低影響開発の手法を用いた水量管理や水質管理に関する論文が多くみられた。

低影響開発に関する議論として、1) 同手法は欧米や豪州を中心に発達したもので、降雨状況の異なるアジア地域ではそのまま適用できず工夫が必要ではないか、2) 特に植生利用の場合の施設の維持管理をどうするか が挙げられる。1) に関連してアジアの諸都市とヨーロッパの諸都市の都市構造の違いを解説する論文があり興味深かった。それによると、ムンバイ、ダッカ、コロombo、ジャカルタ等の都市は当初は旧宗主国により格子状の区画割りが作られ、排水路を計画的に配置可能であったが、後年都市のスプロールにより、ロードサイド型の都市構造となり排水が十分行われなくなり、ゴミの不法投棄や水路の不法占拠が排水不良に拍車をかけている、というものである。筆者はJICA 専門家としてインド滞在中にムンバイを訪問し同地の雨水排水計画を調査する機会があったが、同地の浸水は満潮時に自然排水ができないことが根本原因である。確かに地先排水に関しては格子状の区画割りは有利であるが、集めた雨水は最終的には河川や海域への排水、あるいは貯留がどうしても必要となる。この点に注意が必要である。

また2) に関してはオーストラリアにおける raingarden の維持管理経験から示唆されることに関する論文があり、土壌に水分が十分含まれるよう土壌の選定に注意することなどが述べられていた。

(3) 都市水文過程

本セッションは降雨の流出に関する様々なプロセスにおける実測やモデルによる計算結果を扱う論文が中心であった。その中では RainGain と呼ばれる EU のプロジェクトが興味を惹いた。ルーベン、ロンドン、パリ、ロッテルダム の4都市にレーダを設置し、試験排水区で検証を行うものである。X-Band レーダや改良された C-Band レーダを用いて、雨量の解像度を 1km メッシュから 100m メッシュに向上させることにより、流出解析の精度向上が見込まれている。また同プロジェクトでは関係各国が協力し情報交

換することにより、データやモデルの信頼性を高めることが併せて期待されている。

(4) 都市排水システムの水理現象

本セッションはマンホールやドロップシャフトなどの構造物におけるエネルギー損失や空気連行などの水理現象を扱う論文が中心であった。中でも水理実験に関する論文が興味深かった。具体的には段差のある3方向マンホールの満管流におけるエネルギー損失係数の定式化、道路排水用の雨水ますと下水管への取付管における圧力遷移、さらにメキシコシティーおよびその周辺地域の下水排除と浸水対策を目的とした Túnel Emisor Oriente (延長62km、管径7m、排水量160m³/s) の分流構造に関する論文であった。数値シミュレーション技術が発達した今日でも、水理実験による検証の必要性を改めて認識させられた。

(5) 池、湿地、浸透施設と雨水利用

池、湿地、浸透施設のセッションの9つの論文のうち、スウェーデンの人工湿地における長期的な時間経過に伴う能力の変化に関する論文を紹介する。それによると、特に維持管理を実施していないにも関わらず、1997年のデータと2013年のデータを比較してみると、水理面でも水質面でも除去能力に差異はなかったとのこと。

雨水利用セッションの4つの論文のうち、マレーシアのクアラルンプールにある Humid Tropic Centre に設置した雨水利用施設に関する論文を紹介する。同論文によると、同国の雨水利用施設は後述する都市雨水管理マニュアルに含まれ、浸水対策の一環としても位置づけられている。また施設の維持管理基準について表-3のように決められている。

表-3 雨水利用施設の維持管理頻度

施設名	維持管理頻度
屋根(横方向)	毎月
初期雨水	降雨ごと
雨樋(縦方向)	2週間ごと
タンク	半年ごと

4. マレーシアの雨水対策

今回 ICUD の主催者であった、マレーシア国天然資源環境省排水かんがい局 (Department of Irrigation and Drainage; DID) が関与する同国の雨

水対策の話題をいくつか紹介する。

(1) 都市雨水管理マニュアルの改訂

DID は、同国の都市の発展に伴い増加する浸水被害に対応するため、2000年に都市雨水管理マニュアルを作成した。その後のさらなる都市化やグリーンテクノロジー等の対策技術の進化に呼応して、より効果的で持続可能な手法の適用が必要とされ、2011年に同マニュアルが改訂された。

改訂版では、1) 市民の安全確保、2) 浸水被害防止と大規模洪水時の避難路確保、3) 土地形態の保全と浸食防止、4) 環境影響を最小限とする、5) 景観と生態系の保全、が新しい方針として示されている。

このマニュアルは都市で新規開発や再開発を行う者に適用される。開発者はマニュアルに示された様々な手法を用いて、開発後のピーク流出量を、開発前のピーク流量と同等あるいはそれを下回る必要がある ($Q_{post} \leq Q_{pre}$)。

マニュアルで用いられる設計降雨の確率年は表-4に示す通りである。

表-4 マレーシアの都市雨水管理マニュアルで用いられる設計降雨の確率年

開発の種類	設計降雨の確率年		水質
	水量		
	Minor System	Major System	
空地、公園、農地	1年	100年まで	3ヶ月
住居(低密度)	2年	100年まで	
住居(中密度)	5年	100年まで	
住居(高密度)	10年	100年まで	
商業地(下記以外)	5年	100年まで	
大都市の中心市街地	10年	100年まで	

なお、ここにいる Major System と Minor System については図-1にあるように、道路の脇に置かれた水路(開渠)あるいは管(暗渠)と路面排水からの接続管をそれぞれ指す。

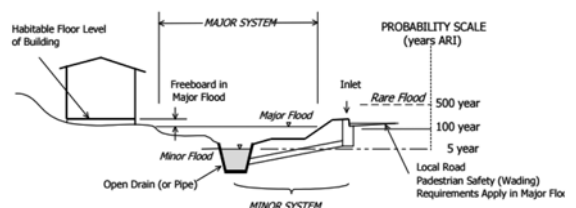


図-1 Major System と Minor System

改訂版は以下 URL より入手可能である。

<http://msmam.com/msma-chapters/>

(2) River of Life プロジェクト

首都クアラルンプールの中心部を流れるクラ
ン川とゴムバク川の浸水対策、水質・環境改善、
沿川のまちづくりを目的としたプロジェクトで
ある。対象区間は10.7kmで総費用は13億米ドル、
2011年から2014年を計画設計期間、2014年か
ら2017年を建設期間とされている。プロジェク
トを通じて民間投資が誘発され、27,000人の雇
用創出、14,000戸の住宅供給、公共交通へのモー
ダルシフト（15%から60%）が期待されている。



図-2 River of Life プロジェクトのイメージ図
(クラン川とゴムバク川の合流地点)
(出典：River of Lifeパンフレット)

(3) マレーシア国規格 MS2526 (都市雨水管理)

マレーシア国の規格 (Malaysian Standard ; MS)
の1つとして、都市雨水管理に関する規格
MS2526 : 2012 が存在する。内容は表-5、図-3
に示す通りである。

表-5 マレーシア国規格 MS2526 (都市雨水管理)

規格番号	内容	規格番号	内容
MS2526-1	許容設計基準	MS2526-11	水質浄化用の池、湿地
MS2526-2	水量に関する基本事項	MS2526-12	浸食防止、浚渫
MS2526-3	水質に関する基本事項	MS2526-13	舗装排水
MS2526-4	屋根排水、建物排水	MS2526-14	排水と SWALE
MS2526-5	オンサイト貯留	MS2526-15	パイプ排水
MS2526-6	雨水利用	MS2526-16	人口水路
MS2526-7	滞留	MS2526-17	植生水路
MS2526-8	浸透	MS2526-18	カルバート
MS2526-9	植生滞留	MS2526-19	ゲート、ポンプ
MS2526-10	夾雑物除去	MS2526-20	水理構造



図-3 マレーシア規格 MS2526-1

5. おわりに

ICUD の発表論文等からみた都市の雨水管理に
関する動向のうち、水量に関するものを中心
に概観した。本稿が都市の雨水管理に関する研
究者や実務者に何らかの参考になれば幸いである。

<参考文献>

- 1) 末石富太郎：第2回国際都市雨水排除会議に
ついて、公害と対策、第18巻4号、pp.23-26、
1982
- 2) 末石富太郎：第3回国際都市雨水排除会議に
ついて、環境技術、第14巻1号、pp.120-123、
1985
- 3) 末石富太郎：都市雨水排除セッション報告
水理・水文学と水質学との統合の可能性、水
質汚濁研究、第13巻11号、pp.99-101、1990
- 4) 藤田昌一：都市域の雨水排除 (Urban Storm
Drainage) に関する国際会議 (スイス) に参加し
て、東京都下水道局局報、pp.132-134、昭和 62
年 10 月
- 5) 藤田昌一：都市雨水排除の国際学会参加感想
レポート、月刊下水道、第13巻12号、pp.70-
79、1990
- 6) 財前光良ら：世界からみた日本の“雨技術”
雨の国際会議 in コペンハーゲンに参加して、
月刊下水道、第29巻1号、pp.76-100、2006
- 7) 古米弘明ら：日本の雨技術を世界に発信！雨
の国際会議 in エジンバラに参加して、月刊
下水道、第32巻1号、pp.81-107、2009