<資料>

日本水文學界의 研究動向

Recent Hydrological Research in Japan

金 治 弘
Kim, Chi Hong

1. 序 言

筆者가 日本用役會社의 業務協助關係로 渡日하여서 約 4個月間 滯在하는 機會에 마침 지난 10月 8日부터 10月10日까지 3日間 東京工業大學에서 日本土木學會主催 第31回年次 學術講演會에 參席할 수 있어 大略的인 日本水文學界의 硏究 動向을 살필 수 있었다.

以下 그 演題와 內容을 簡單히 적기로 하는데 筆者가 淺學非才이기에 잘못 옮겨지지 않은가 몹씨 걱정이 되나 硏究하시는 諸賢諸位의 適切한 取捨選擇하여 參考해 주시기 바라면서 감히 紹介키로 한다.

2. 講演內容 紹介

2.1 治水計劃 利水計劃 結氷河川關係論文(12篇)

1) 群馬縣桐生川의 歷史的考察:

河川의 歷史的인 治水 利水面에서 어떻게 이루어졌는가를 沿岸住民과의 發展相을 論한 것인데 우리도 이러한 堤防築堤洑의 建設에 關한 歷史的 過程을 調査함이 좋을 것 같다.

2) 利根川治水理念의 考察 其七—利根川計劃高水流量의 變化:

高水流量의 治岸農民의 싸움과 戰亂에 依해서 이루워졌다는 歷史的으로 興味있는 內容이었다.

3) 利水用 貯水池에 있어서 目標放流量系列의 設定과 供給可能量과의 關係:

日本은 新規水源의 開發이 漸次 困難해저서 旣設의 利水施設에 依해 開發된 資源을 最大限 有效하게 利用하여야 되는 處地에서 確率在庫 Model과 季節別目標放流量系列의 設定을 Markov Chain에 依據 放流量의 最適量을 求하는 基礎式에서 求하고자 하는 內容이다.

4) 流域에 있어서 水資源의 配分 利用方法에 對하여:

이 硏究의 目的은 個個의 流域에 있어서 利用可能한 水資源이 設定된 경우 流域內의 各 地區 및 各種물利用者에 對하여 그 水資源을 어떻게 配分利用하는 것이 各種의 觀點(經濟, 環境, 財政, 社會, 技術, 其他)부터 봐서 合理的인가를 分析하기 위해 手法을 開發한 것이다. 大型 PROGRAM化 했는데 ① 水資源 利用, 配分現況의 把握方法 ② 水資源利用 配分形態의 變化에 따르는 効果 影響의 把握方法 ③ 水資源의 最適利用 配分方法으로 나누워서 硏究되었는데 相當히 興味있고 우리나라에도 이러한 硏究가 必要하리라고 본다.

5) 渴水時의 貯水池의 放流目標決定에 關한 考察—確率 DP의 適用—

이것은 3)의 것과 같이 물不足을 가저오는 渴水時의 貯水池 放流量決定을 確率 Dynamic Program으로 풀어서 硏究하는 方向을 提示하였다. 여기서 注目할 것은 降水量의 長期豫報를 貯水池運用에 利用한 結果는 精度面에서 本方法에 未洽하다고 해서 論難의 餘地를 남겼다.

6) 댐群의 大規模시스템에 있어서 最適操作:

Linear Programming에 依據 實施하고 있는 手法에서 Dantzig-Wolf가 提案한 分解原理(Decomposition Method)에 依한 解法을 提示한 것인데 複數 dam의 放流量은 Dynamic Programming法으로 求하고 上記原理를 適用하였는데 좋은 結果를 얻었다 한다.

7) Peak流量最小化를 主目的으로 하는 貯水池群 操作의 新解法

洪水波形의 附與되었을 때 洪水制御 特히 peak流量最小化를 主目的으로 하고 利水때문에 洪水終了時의 貯溜量을 最大化 하는 것을 副次的目的으로 貯水池群 操作問題의 LP에 의한 解法을 表示하고 있다.

8) Substitutive Cut制御에 關한—考察:

이 論文은 貯水池下流에 支流의 合流가 있는 경우에 合流部의 洪水波形을 peak cut 하는 操作法의 提示, substitutive cut의 定式化를 期한 것이다.

9) 內水排除에 關한 水理施設의 經濟性에 對하여:

本會理事·都和綜合設計公社副社長

施設의 規模決定에 있어 確率出水와 施設規模와를 數種類 取해서 이들의 combination으로 內水解析을 하고 許容湛水位 및 施設에 依한 年平均被害輕減額의 兩面으로부터 合理的인 施設規模를 決定하는 順序를 具體的으로 檢討한 것인데 이에 對한 것은 우리나라 用役會社에서도 흔히 하는 方法이고 새로운 것은 아니나 定式化해서 case study한데 意義가 있었다.

10) 動的感度分析法의 實用化를 위한 基礎的硏究：

低平地都市河川의 水理學的擧動을 시스템的으로 보면 分布常數system이고 거기에는 非線形 非定常시스템이므로 이를 動的感度分析法이라는 方法의 實用化를 期한 것이다. 이것은 pump up해서 남은 流下量을 input로 하여 어떤 black box를 通하여 流量의 變化인 output를 얻고자 하는 方法인데 그것은 世界的으로 流行되고 있는 Kalman-filter理論에 基礎를 두고 simulation은 Lax-Wendroff法을 써서 求하고 있는데 이것이 요즈음 日本에서 盛行되고 있는 手法의 하나이다.

11) 北海道東部河川의 結氷期間에 對하여：

12) 結氷河川流量推定에 對하여：

두 論文은 結氷河川의 水文分析에 對한 手法인데 흔이 있는 Hydrology의 敎科書에 나오는 方法인데 實際適用例를 보였다는데 意義가 있었다.

2.2 水文統計 降雨 流出model關係論文(14篇)

1) 時系列에 있어서 定常性과 非定常性에 對하여：

水文學을 包含해서 現在 많은 工學的 分野에 있어서 對象으로 하는 現象의 時系列 取扱이 盛行되고 있다. 그러나 여기서 時系列이라는 말 自體는 반드시 明確하지 않고 한편 單只 確率變數$X_t(w)$의 parameter t가 時間을 表示할 때의 것을 말하는가 하면 觀測된 觀測値 그 自體의 時間的 系列을 指摘할 때도 있다. 이것들은 各各 實際에서 取扱하는 確率過程의 見本函數이다는 意味에서 같다고 말하지만 많은 時系列 取扱의 實例를 보면 오히려 假定하여야 할 確率構造에 對한 情報가 皆無인가 또는 대단히 적을때에 흔히 時系列云云한다고 생각되는데 이를 時系列 解析에서 普通 自己回歸過程을 쓰고 있는 實情에서 離脫하여 本論文에서는 Box & Jenkins가 提案한 自己回歸過程의 一般化한 ARIMA 過程에 依해서 非定常過程도 取扱하는 方法을 들어 定常性과 非定常性을 調査한 것이다. 이것은 G.E.P. Box & Jenkins "Time series analysis—forecasting and control," Holden-Day 1970, 및 日野, 竹內, 宏戶의 非定常스펙크들의 定義와 實際例 第30回土木學會年講 1975를 參考로 하고 있었다.

2) ARIMA model에 依한 年降水量系列의 解析에 對하여：

1)과 같이 Box & Jenkins의 ARIMA model에 依해 日本札幌市의 年降水量의 10年移動平均을 取한 系列에 適用시켰다. 혼이 定常理論에 依한 解析에서는 時時刻刻으로 變化하는 豫測에는 不充分해서 非定常過程이 들어있는 本 model을 써서 適用例를 보여 주웠다.

3) Maximum Likelihood Method에 依한 Return Period의 信賴評價에 對하여：

水文量의 信賴限界에 關한 從來의 基本的 생각方法은 順序統計學에 基礎를 둔 것이 大部分이라 이 方法에서는 N個의 水文資料로부터 T>N인 return period (確率年)T에 對한 水文量의 信賴限界에 對한 解를 줄수가 없고 어떠한 假定을 設置해서 簡便하게 外挿法에 依하지 아니할 수 없다. 따라서 小數의 標本數N보다 큰 return period T에 對한 水文量을 計劃量으로 하는 일이 많은 實情을 勘案해 보다 合理的인 信賴限界理論 開發의 必要性을 主張한 것이 本論文이였다. 여기서는 Maximum likelihood method에서 얻어지는 parameter 推定誤差의 分散共分散行列을 써서 上述의 問題點이 解決되리라고 보고 對數極値分布A型에 對한 return period의 標準誤差를 評價하는 式을 誘導해서 理論의 妥當性을 simulate에 依해서 檢討되어 있었다.

4) 日降水simulation手法에 對한一考察：

本 論文은 日降水simulation에다 季節境界simulate를 넣은 效果에 對해서 報告된 것인데 ① 夏期降水系列을 天氣圖에 依해 春期, 梅雨期, 夏期, 颱風秋霖期, 秋期의 季節로 區分하고 ② 各各의 季節의 日降水量分布 降水連續日數分布, 無降水連續日數分布 및 季節境界日의 分布의 4가지 分布로 부터 日降水系列을 simulate한다. ③ 再現性의 檢討에는 特히 渴水生起特性에 對하여 利水計劃을 假定해서 累加曲線法에 依해 必要利水容量分布를 求해 가지고 實績降水의 것과 比較하고 있다.

5) 多地點日雨量時系列에 關한 새로운 model의 提案과 그 simulation：

數時間~數日間單位의 降水量時系列은 "間歇的" 또한 "持續的"時系列이고 그 特性을 無理없이 一般的인 解析을 하는 것은 어렵다. 日本에서 旣往의 主된 硏究成果는 다음과 같이 大別된다. ① 時系列的으로 完全한 獨立性이라고 假定한 硏究 ② 無降水部分과 降水部分으로 나누워 各各의 特性을 個別的으로 硏究한 것 ③ 若干 特殊한 取扱을 한 것이지만 蒸發散量을 minus의 降水로서 導入하고 無降水部分 降水部分을 한個의 連續分布로 置換한 角屋(Sumiya)氏等의 硏究이다.

그러나 이들은 全部 便宜的 或은 大膽한 近似的 解析手法이라 해도 過言이 아니고 特히 多地點降水量時

系列에 對한 時空間的確率構造의 解析에 對해서는 반드시 充分한 適用性이 있다고 할 수 없다. 이것에 對해서 本 論文의 發表者 江藤(Eto)는 降水量時系列에 對한 보다 깊은 理解를 위해서 降水發生의 物理的 mechanism을 注意깊게 考慮한 降水量 時系列의 model設定이 不可缺임을 指摘하고 이와 같은 觀點에서 다음과 같은 時系列model을 提出했다. ① 降水量時系列에 比해 보다 緩慢하고 또한 連續的으로 變動하는 潛在的變動成分 $\eta(t)$가 存在한다. ② η가 어떤 限界値 η_*를 超過하면 降水事象이 發生한다. 즉 $\eta>\eta_*$일때 降水$(r>0)$, $\eta\leqq\eta_*$일때 無降水$(r=0)$, 여기서 r:降水量 ③ 降水條件$(\eta>\eta_*)$에 對하여 새로운 헤터진 成分 ε_η가 附加된다. ④ 降水量r은 $(\eta'=\eta+\varepsilon_\eta)$를 適當히 非線形變換$r(\eta')$로서 얻어진다.

한편 이와 같은 model은 概念的으로는 얼마던지 複雜하게 할 수 있으므로 보다 精密한 model을 構築 할 수 있다. 이 model의 精密度의 限界는 다음과 같은 制約에 依해 決定될 것이라고 말하고 있다. 즉① 資料의 質(資料數, 觀測精度등)② 解析의 實用性

그래서 이러한 觀點에서 報告하고 있는데 Simulation에는 Matalas型의 model을 쓰고 있었다.

6) 降水量의 分布에 關한 硏究：

最近의 水文學硏究學者들間에 쓰이고 있는 高度의 數學技法을 止揚하고 現實的으로 實用性에 主眼點을 두고 降水의 simulation發生의 簡便化와 統計的 性質 把握의 目的下에 日降水量의 平方根正規分布로서의 適合, 月降水量의 特徵, 非定常性을 除外한 月降水量時系列의 性質에 對하여 論한 것이다.

7) 降雨의 時空間分布가 水文曲線波形에 미치는 効果에 對하여：

河道網系에 있어서 洪水의 傳播合成過程을 單純한 time lag過程과 線形合流 過程으로 表現 即 1次元多段過程으로 다음 式으로 表示하고 있다.

$$q_i(t)=\{\mathrm{A}_i\cdot \mathrm{Z}(2\alpha i)+\mathrm{B}_i\cdot \mathrm{Z}(\tau_i+\alpha_i)+\mathrm{C}_i\cdot \mathrm{Z}(2\tau_i)\} * q_{i-1}(t) \qquad (1)$$

$$i=2,3\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots n$$

$q_i(t)$는 i th order 부터의 單位量의 降雨에 對한 單位面積當의 流出量, $\mathrm{Z}(\beta)$는 $\mathrm{Z}(\beta)*f(t)=f(t-\beta)$를 表示하는 時間變換 operator, $\mathrm{A}_i,\mathrm{B}_i,\mathrm{C}_i$는 i th order에서의 合流狀況을 表示한다. $\mathrm{A}_i=a\mathrm{P}_i^2/\mathrm{G}_i$, $\mathrm{B}_i=(1+a)\times \mathrm{P}_i/\mathrm{G}_i$, $\mathrm{C}_i=a/\mathrm{G}_i$, $\mathrm{G}_i=2+(1+a)\mathrm{P}_i+a\mathrm{P}_i^2$, α_i,τ_i,는 雨域 및 流水의 傳播時間을 表示한다. 結局 n th order의 河川流域부터의 流出量$q_n(t)$는 (1) 式의 核을 F_i라 노면 次式의 漸化式으로 表示된다.

$$q_n(t)=\mathrm{F}_n*\mathrm{F}_{n-1}*\cdots\cdots\cdots*\mathrm{F}_2*\mathrm{F}_1*r_i(t) \qquad (2)$$

(2)式에 따라서 $r_0(t)\to q_1(t)\to\cdots\cdots$와 $q_n(t)$를 計算할 수 있다. 한편 $r_i(t)$, F_i를 各各 獨立한 確率變量의 密度函數라고 看做하면 $q_n(t)$는 그들의 合의 分布를 求하게되므로 中心極限定理에 依하여 $\mathrm{N}(t_m,\sigma^2)$의 正規分布에 가까워지는 것이 되어 $q_n(t)$의 peak의 位置t_m과 peak의 값 q_{np}는

$$\left.\begin{aligned} t_m &\doteqdot \mu_0+\mu_1+\cdots+\mu_n=\mu_0+\mu_1+\sum_{i=2}^{n}\{\mathrm{D}_i(\tau_i-\alpha_i)+2\alpha_i\} \\ q_{np} &\doteqdot \left(\sqrt{2n}\right)^{-1}(\sigma_0^2+\sigma_1^2\cdots+\sigma_n^2)^{-\frac{1}{2}} \\ &=\left(\sqrt{2\pi}\right)^{-1}\left\{\sigma_0^2+\sigma_1^2+\sum_{i=2}^{n}\mathrm{E}_i(\tau_i-\alpha_i)\right\}^{-\frac{1}{2}} \end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

로 주워진다. μ_0, σ_0^2은 降雨波形의 平均値와 分散 μ_i, σ_i^2은 F_i의 平均値와 分散 D_i, E_i는 a와 P_i에 依해 定해지는 常數이다. (3)式에 依해 다음의 諸特性을 얻었다.

① 降雨域의 移動에 關하여：降雨域의 下流로부터 上流로 向하는 경우$(\alpha_i<0)$는 peak의 位置는 빨라지지만 q_{np}는 적어진다. 그 逆인 경우$(\alpha>0)$는 peak의 位置는 늦어지지만 q_{np}는 크게 되고 雨域의 移動速度와 流水의 傳播速度가 같을때 $(\tau_i=\alpha_i)$에 最大値가 된다.

② 降雨强度의 地域分布에 關하여：上流일수록 强한 비가 오는 경우$(p_i<1)$에는 peak는 크게 되지만 늦게 나타난다. 逆인 경우에는 a에 依하여 變化하지만 $1<p_i<2$ 程度에서는 出水 peak는 적고 빠르다.

이러한 內容인데 非線形取扱을 생각치 않은 點에서 論議의 餘地가 있다.

8) 單位圖의 非線形特性에 對하여：

流出解析으로서는 現今까지 決定論的 或은 確率統計論的인 approach에 의한 2個의 立場으로 大別되어 數많은 硏究가 되어 있다. 그러나 流出現象은 本來 非線形系의 本質을 解明하는 것이 하나의 重要한 課題로 되어있다. 本論文에서는 흐름의 基礎式에서 慣性項등의 모든 項을 考慮하여 特性曲線法에 의한 洪水追跡의 手法을 쓰므로서 單位國에서 非線形効果의 特性에 對하여 檢討를 하였다.

本 論文에서는 流速分布가 同一한 幅이 넓은 矩形斷面水路를 假定해서 다음과 같은 運動方程式과 連續의 式을 쓰고 있다.

$$\frac{\partial \mathrm{V}}{\partial t}+\mathrm{V}\frac{\partial \mathrm{V}}{\partial x}+g\cos\frac{\partial s}{\partial y}=\left(i-f+\frac{2q_L}{\mathrm{B}}\right)\times\frac{V}{g}-\frac{\tau_0}{\rho\mathrm{R}}+g\sin\theta \qquad (1)$$

$$\frac{\partial y}{\partial t}+V\frac{\partial y}{\partial x}+y\frac{\partial V}{\partial x}=i-f+\frac{2q_L}{B} \qquad (2)$$

여기서 V: 平均流速 y: 水深, i: 降雨强度 f: 浸透能, q_L: 單位길이에서의 橫流入量 R: 徑深 B: 水路幅 τ_0: 底面摩擦應力 ρ: 물의 密度, g: 重力의 加速度 θ: 水路의 傾斜角 x: 距離 t: 時間이다. 上式 (1) (2)부터 다음의 特性方程式이 얻어진다.

$$\left.\begin{array}{l} \text{曲線}(C^+): dx/dt=V+\sqrt{g\cos\theta\cdot y}\ \text{上에서} \\ dV=-\sqrt{\dfrac{g\cos\theta}{y}}\cdot dy+\left(\xi+\sqrt{\dfrac{g\cos\theta}{y}}\times\eta\right)dt \end{array}\right\} \quad (3)$$

$$\left.\begin{array}{l} \text{曲線}(C^-): dx/dt=V-\sqrt{g\cos\theta y}\ \text{上에서} \\ dV=\sqrt{\dfrac{g\cos\theta}{y}}dy+\left(\xi-\sqrt{\dfrac{g\cos\theta}{y}}\times\eta\right)dt \end{array}\right\} \quad (4)$$

여기서

$$\eta=i-f+2q_L/B \quad \xi=\eta\cdot(V/y)-\tau_0/(PR)+g\sin\theta \qquad (5)$$

이다. 初期條件과 境界條件을 附與해서 $x\sim t$平面을 C^+, C^-의 特性曲線으로 cover해서 差分法을 써서 數値計算을 行하므로서 $x\sim t$平面上의 各點에서의 諸水理量을 順次 求하게 된다. 그리하여 流出水文曲線으로부터 單位圖의 非線形特性을 究明한 것이다.

9) 降雨一流出系에 있어서 非線形核에 對하여 :

流出現象의 非線形性의 解明은 流出解析의 하나의 主要한 테一마인데 有力한 解析的手段이 存在하지 않고 있다. 이 種類의 問題에 對하여 從來쓰여진 手法은 攝動法등의 線形近似에 依하는 것이 一般的인데 이 경우의 有効性이라는 것은 大端히 强한 制限下 밖에 存在하지 았는다. 즉 非線形인 경우에는 그 局所的인 性質을 눌를 수 있었다고 치드라도 거기로 부터 全體的인 性質을 말할 수 없다는 缺點이 있음을 指摘하고 Wiener의 直交汎函數展開法을 써서 系의 物理的 基礎方程式이 內包되어 있는 非線形性을 非線形核이라는 explicit인 形으로 表示하므로서 現象의 理解를 깊게 하고저 試圖한 것으로서 理論的인 解로 展開하고 있다 具體的인 數式表示느 紙面關係上 省略한다.

10) 分布型Model에 依한 流出의 simulate 및 流域의 集中scale :

流出解析을 쉽게 한다는 見地에서 從來는 流出 model로서 集中型model의 생각이 大部分였는 것을 本來流出系는 分布系이므로 分布型model을 생각할 必要가 있다고 提唱하고 分布型model을 基礎로 해서 逆으로 그 集中化를 論하는 方法을 取하고 있다. 本論文에서는 Kinematic wave 法을 基礎로 한 分布型의 流出simulation을 構成하는 것과 그의 集中化scale에 對한 것을 論하고 있다.

11) 水文流出의 振動系로서의 特性에 對하여 :

確率過程水文學(Stochastic Hydrology)은 近來 水文學에서 重要硏究課題인데 本 論文은 그러한 것의 具體的인 硏究를 다음과 같이 解說的인 것을 加味해서 잘 整理되어 있어 여기에 說明하기로 한다. 즉 水文現象이 時間的으로 確率法則에 따라 發生하고 있다는 見地로 부터 確率過程水文學은 日野(Hino)에 依하여 提唱되었다. 이 手法에 依한 硏究는 管原(Sugahara), 高棹(Takasao), Eagleson等에 依하여 行해졌다. 水文量의 發生을 確率統計的으로 整理하고자 하는 確率統計水文學과 함께 이 確率過程水文學은 水文現象의 不規則性中으로 부터 確率法則을 發見하고 그 時間的變化도 考慮하여 入出力의 關係를 明確히 하고저 하는 것이다. 그 硏究過程을 살펴보면

① Wiener-Hopf方程式과 應答函數

1967年 日野에 依하여 Wiener의 情報理論(1949)이 流出豫測에 비로서 처음으로 適用되었다. 單位流出函數 $h(t)$와 降雨 $x(t)$에 convolution 積分을 써서 流出 $y(t)$는

$$y(t)=\int_{-\infty}^{\infty}h(t)x(t-\tau)d\tau \qquad (1)$$

로 表現된다. x,y를 觀測資料로서 最適인 應答函數 $h(\tau)$를 求하는 것은

$\varepsilon(t)^2=[y(t)-\int_{-\infty}^{\infty}h(\tau)\cdot x(t-\tau)d\tau^2]$로 주어지는 $\varepsilon(t)^2$의 時間的平均 $\varepsilon(t)^2$을 最小로 하는 問題로 歸着된다. 即

$$[R_{xy}]=[R_{xx}][h] \qquad (2)$$

가 된다. 여기서 $[R_{xx}]$는 $x(t)$의 自己相關函數matrix, $[R_{xy}]$는 $x(t)$와 $y(t)$의 相互相關函數matrix이다. 最適應答函數 $[h]$는

$$[h]=\{[R_{xx}]^T[R_{xx}]\}^{-1}[R_{xx}]^T[R_{xy}] \qquad (3)$$

으로서 計算된다. 日野는 神流川(Kanna River)의 資料를 써서 $[h]$를 計算하여 今日의 確率過程水文學의 基礎를 만들었다.

② Spectral과 周波數應答函數 10年程度前부터 水文量의 不規則性, 偶然性中으로부터 周期性, 線形性等의 法則을 抽出코저 spectral解析이 適用되어 시스템(system)工學을 쓰는 것이 有益하다는 것이 小數의 硏究者에 依해 提案되었다. 그것이 日本의 確率過程水文學의 誕生케 한 것은 事實이다.

그 內容인 즉 水文量의 spectral 및 周波數應答函數(system函數)에 對하여 記述해 보자. 水文量$Z(t)$를 Fourier級數展開를 하면

$$\left.\begin{aligned} Z(t) &= \sum_{n=0}^{\infty}\{a_n\cos n\pi t + b_n\sin\, n\,\pi t\} \\ a_n &= \int_o^z z(t)\cos\, n\,\pi t\ dt \\ b_n &= \int_o^z z(t)\sin\, n\,\pi t\ dt \end{aligned}\right\} \quad (4)$$

가 되고 周期$T=2/n$ 即 周波數$f=n/2$의 振幅 spectral은

$|F(n)|=\sqrt{(a_n^2+b_n^2)/2}$ 로 定義되고 power spectral이

$|F(n)|^2=(a_n^2+b_n^2)/2$로 주어진다. 즉 水文量$z(t)$에 包含되는 周期 $T=2/n$의 周期成分의 强度가 power spectral로서 選擇抽出되는 것이 된다. 또 $n=2f$, $S_{zz}(f)=|F(n)|^2$라고 노면 $z(t)$의 自己相關函數$R_{zz}(\tau)$와 power spectral $S_{zz}(f)$사이에는 Wiener-Khinchine의 關係로 부터

$$\left.\begin{aligned} S_{zz}(f) &= \int_{-\infty}^{\infty} R_{zz}(\tau)e^{-i2\pi f\tau}d\tau \\ R_{zz}(\tau) &= \int_{-\infty}^{\infty} S_{zz}(f)e^{-i2\pi f\tau}df \end{aligned}\right\} \quad (5)$$

가 成立한다. 前述한 降雨$x(t)$와 流出$y(t)$의 線形濾波式(1)을 써서 $R_{yy}(\tau)$, $R_{xy}(\tau)$, $R_{xx}(\tau)$을 計算하고 Wiener-Khinchine의 關係로 부터 spectral을 求하면 單位 inpulse 應答函數 $h(\tau)$의 Fourier變換인 周波數應答函數(system函數) $H(f)$가 다음 關係로 부터 計算할 수 있다.

$$S_{yy}(f)=|H(f)|^2S_{xx}(f) \quad (6)$$

$$S_{xy}(f)=H(f)\cdot S_{xx}(f) \quad (7)$$

降雨$x(t)$의 $f=f$周期成分

$x(t)=X\sin 2\pi ft$가 流出의 同周期成分 $y(t)=Y\sin(2\pi ft+\varphi)$에 어떻게 應答하는가를 表示하는 것이 周波數應答函數이다. 即

$$Y/X=H(f) \quad (8)$$

인 關係가 成立하고 X와 Y는 線形이나 Y/X의 값은 周波數f에 의하여 變化한다. φ는 位相差로서 이것도 f에 의해서 定해진다. 그거은 降雨流出現象의 特性을 明確히 하는데 重要한 것이다. 이와같이 制御系의 未知의 特性을 適當한 入力data와 出力data에 의해서 推定하는 것을 system 同定이라고 불리우고 있다.

叙上의 理論으로 降雨流出을 周期現象으로 보고 푸는 것을 本 論文에서는 貯溜函數法을 例를 들어 振動方程式을 誘導해서 그 成立을 說明하고 있다.

12) Time Varient 水文model의 檢討:

近年 IUH (Instanteneous Unit Hydrograph) model을 構成하는 몇個의 假定中에서 time invariance(定常)을 除去하고자 하는 試圖가 이루어지고 있다. 實用面으로부터 model의 parameter에서 이러한 試圖를 期한 것인데 本 論文에서는 貯溜函數에 非定常性假定을 包含하는 경우에 model로서의 得失 및 parameter決定法을 論한 것이였다.

13) Kalman Filter 및 GMDH에 依한 流出計算의 實際

日本에서 主로 많이 擧論되어 있는 水文量豫測法의 하나로서 Kalman Filter와 GMDH法이 있는데 그 理論을 若干 說明해 두기로 한다.

ⓐ Kalman Filter理論[1]

降雨流出系를 parameter同定問題(11의 說明參照)라고 생각하여 以下의 4式으로부터의 parameter의 最適推定値를 逐次決定하여 任意의 流域에 있어서 流出量을 豫測하는 것으로서

$$P_{t|t}=(I-K_tM_t)P_{t|t-1} \quad (1)$$

$$P_{t+1|t}=\Psi_tP_{t|t}\Psi_t^T+Q_t \quad (2)$$

$$K_{t+1}=(P_{t+1|t}M_t^T)(M_tP_{t+1|t}M_t^T+R_t)^{-1} \quad (3)$$

$$\hat{h}_{t+1}|_t=\Psi_t\hat{h}_{t|t}+K_{t+1}(Y_{t+}-M_{t+1}\Psi_t\hat{h}_{t|t}) \quad (4)$$

여기서 $|h_t$: System parameter, Ψ_t: 遷移行列, $P_{t+1|t}$, $P_{t|t}$: 推定誤差의 共分散行列, M_t: 觀測值行列, K_t: Kalman Filter, Y_t:觀測流量, ^: 最適推定値임을 表示Q_t, R_t:noise

주어지는 system方程式은 반드시 線形일 必要는 없고 同定하는 parameter에 關하여 線形이면 된다.

ⓑ GMDH理論(Group Method of Data Handling)[2)3)]

소聯의 A. G. Ivakhnenko의 提唱에 依한 것인데 그 著者에 依하면 ① 大端히 많은 變數와 parameter의 存在 ② 相互의 關係가 非線形 ③ system에 關한 情報가 充分히 存在치 않은 것에 對하여 取扱되는 一般的方法인데 그 主된 特徵을 要約하면 다음과 같이 된다. ① 적은 入出力data로 多變數非線形 system의 同定, 豫測의 可能 ② 計算量이 적은 Algorithm이 安定(이것은 從來의 確率的 豫測法과 比較해서) ③ 情報의 "useful" 한 것과 "harmful"인 것으로의 分割에 依한 精度의 向上 紙面關係上 詳細한 것을 記할 수 없으나 發見的自己組織化(Houristic Self-Organization)의 原理에 依해서 複雜한 自然現象의 過程에 있어서 그 過程의 不完全한 情報와 不完全한 制御性였드라도 變數의 random인 結合을 써서 多層構造로 最良의 것을 自己撰擇 해 나가는 制御技術의 하나라고 할 것이다.

1) R.E. KALMAN "A New Approach to Linear Filtering Prediction" Trans. ASME, Series D. Journal of Basic Eng. Vol. 82, 1960, pp.35~45

2) A. G. Ivakhnenko "The Group Method of Data Handling, A Rival of the Method of Stochastic Approximation" Soviet Autometic Control, Vol. 1, No. 3

1968 3) A. G. Ivakhnenko, M.M. Touda and Yu. V. Chukin "GMDH Algorithm with Successive Determination of Polynominal Trends Using the Most Essential Variables," ibid, Vol. 5, No. 2, 1972

本 論文은 日本의 宮城縣(Miyagiken)內의 日降雨의 要因을 分析하면 縣全體를 支配하는 主成因子는 全體의 75.2%를 占有하고 縣內의 어떤 地域이 低水狀態이면 縣內全體가 같은 流況相을 呈示하고 있어 물需要度의 年令의 增加에 對하여 新水源을 他水系로 부터의 導水는 得策이 아니므로 洪水期의 出水도 水資源의 貴重한 供給源이라는 思潮에 立脚하여 有限한 水資源의 有效利用을 目標로 하였는데 檢討를 加해야 하는 諸問題中 流出量의 豫測를 上述의 두가지 方法을 適用해서 그 長短點을 論한 것인데 大端히 앞날의 適用範圍가 많아 參考가 되는 論文였었다.

14) 確率統計水文學의 實河川에서의 適用上의 問題點 :

여러論文에서도 學論되었지만 流出系의 非線形性研究에 對한 問題가 殘存하고 있는데 여기서는 δ-Delay Filter Correlation Method에 依하여 線形과 非線形을 區分하여 handling data에서 流出量을 豫測하는데 있어서의 問題點을 論하고 있는데 筆者도 이 理論에 非常한 關心을 갖고 이 理論을 programming하여 電算處理中인바 그 正當한 解法을 檢討中에 있다.

3. 結 語

以上 水文學에 關係되는 論文 26篇을 들어 最近의 日本水文學界의 研究動向을 紹介했는데 아직도 迷宮에 있는 問題點이 許多함을 讀者諸位는 多少라도 認識하였으리라 믿는다. 特히 日本은 今年인 1976年은 異常氣象의 代表的인 해 였다. 지난 颱風 7號北上時에 日本四國(shigoku)北端 小豆島(Shoto Jima)에는 7日間에 東京年平均降水量 1,500mm를 上廻하는 1,800mm의 降雨記錄으로 未曾有의 記錄的降雨가 있었고 長良川(Nagara River)의 下流의 安八村(Anbachi Viliage)의 破堤騷動이 나서 人命被害가 甚大하였다. 이 堤防은 72時間의 高水位持續으로 물의 浸潤線에 依한 堤內地로부터의 崩壞였던 만큼 堤防의 力學的 安定問題가 크게 다루어졌다. 이러한 天災地變을 當하여 水文學의 研究關係 學者 實務者들의 非常한 關心事는 線形非線形의 降雨—流出關係의 究明, 降雨 또는 流出豫測方法論이 漸次的으로 實地와 符合할 수 있는 技術이 얼마큼 切迫한 것인가에 對하여 實地로 體驗했다. 그러한 異變을 把握하기 爲해 요지음 活潑한 計劃이 樹立되어 있다. 그 中 刮目한 것은 降雨의 特性을 空間的 分布에 보다 精密한 研究의 必要性을 切感한 나머지 레이다網의 구름時布와 降水에 對한 多角度의 分析方法을 研究하기 始作했고(3年 前부터라함), 氣象臺와 水文學者들이 Kalman Filter의 理論을 適用한 颱風進路의 豫測法開發이 現在進行中이고 人工衛星에 依한 500mb上의 구름移動및 그 分布가 降水와의 關係를 10分間隔으로關東地方全域에 걸쳐 overlay 시켜서 그 關係의 究明과 降雨量豫測에 關한 研究가 活潑히 進行中이여서 앞으로 相當한 研究成果가 나타날 것이 豫想된다.

其他 流出實驗, 流出解析 低水流出關係 13篇, 流域地形과 流出 雨水의 浸透關係 10篇의 論文도 있었으나 紙面關係上 省略했다. 此後 機會가 있으면 그 中 몇篇을 紹介할 豫定이다.