

# 動態經濟模型에 對한 시스템 理論的 批判

R.E Kalman\*  
(朴永文\*\* 譯)

[註] 本文은 今年 6月 28~30日 美國 듀우크大學校에서 開催된 第1次 國際方策解析 및 情報시스템 심포지움(The First International Symposium on Policy Analysis and Information System) 에서 招請演士로서 講演한 시스템理論分野의 碩學 K.E. Kalman教授의 講演原稿를 번역한 全文 이다.

### 차 례

1. 背景
2. 模型의 來歷
3. 拒否現象
4. 可到達性(可制御性) 및 可觀測性
5. 實現理論
6. 패러미터 및 不變量
7. 시스템理論의 犯則
8. 總括
9. 參考文獻

## 1. 배경(Setting)

現代의 科學的 무대(scene)를 經濟, 電子計算機, 人工知能(artificial intelligence) 등의 可能한 限 넓은 視野(horizon)에서 본다면, 古典的인 學問領域(classical disciplines)은 漸次로 打破되고, 그 代身 새로운 分野(fields)가 出現하고 있다는 두드러진 事實을 感知하게 된다.

그 理由는 무엇이며, 그 原因은 무엇일까?

科學의 再編成(reorganization)은 事物(things)의 “시스템的 側面(system aspect)”을 漸次로 重要視한 메서 이루어지고 있다는 것이 本 講演의 前提(pre-thesis)이 다. 古典的인 處方法(recipe)인 “實驗(experiment)-理論(theory)-確認(confirmation)”은 單純하고 孤立된 自然 現象에는 잘 適用되어 왔으나, 複雜性(complexity), 相互作用(interaction) 및 人間이 이룬(man-made) 構造로 特徵지워지는 現代의 많은(대부분의?) 問題에

에는 適用이 되지 않고 있으며, 따라서 이에 대처하는 새로운 思考方式(mode of thought)이 要請되고 있다.

本人은 “시스템的 側面”에 對하여 어떤 種類의 公式 的인 定義를 規定코져 試圖하기 보다는 이것이 重要한 경우와 重要하지 아닌한 경우의 몇 가지 實例를 다음 에 들기로 한다.

### 重要한 例

- 生物學
- 工 學
- 計算機學
- 經濟學

### 無視되는 例

- 物理學
- 天文學
- 材料學
- 文 學

“시스템的 側面”은 “自然科學(natural sciences)”에 서는 별로 重要하지 아니하다(生物學은 매우 例外的인 입), 人間이 創出한 實體(entities)를 主로 取扱하는 所謂 “人工知能” 分野에서는 極히 重要하다. 그런데 本人은 本人의 演題가 動態的 經濟 模型에 關한 것이고, 또 科學으로서의 經濟學이 生物學과 工學에서 야기되는 興味로운 問題를 共有하고 있는 關係로, 本人은 앞으로의 實例를 主로 經濟學 分野에서 들코져 한다.

“시스템”이라는 아직 유치한 단계에 있는 超科學(superscience)을 다루는 現在의 형성한 方法論에서는 模型(model)이라는 概念이 中核的인 役割을 遂行한다. 여기서 模型이라 함은 單純하고 抽象的인 知能的 構成物(mental construct)을 뜻하며, 그 한 實例는 케인즈 經濟學(keynesian economy)인 바, 이 經濟學의 對象이 되는 어느 微小部分을 시뮬레이션하는 巨大한 計算機 프로그램에서 그것을 찾을 수 있다.

本 講演의 題마는 模型論(theory of models)이다.

\* 스위스 聯邦 工科大學 教授(工博)

\*\* 正會員: 서울大 工大 電氣工學科教授·工博

그런데, 그와 같은 것이 存在하는가? 그것이 有用한가? 또한 模型을 抽象的으로 다룰 수 있는가? 이 實質問에 對한 答은 그렇다(YES)이다. 더 나아가서 말하자면, 시스템 理論에서 얻은 事實을 參照, 引用하지 않고서는 어떠한 重要한 模型技法 研究를 遂行할 수 없다는 것이 本講演의 主旨이다.

시스템의 直觀的(intuitive), 具體的이고 實在的인 좋은 實例는 디지털計算機이다. 시스템理論的(system theoretic)으로 設定된 問題를 于先 그것이 計算機의 側面에서 무엇을 뜻하는 지를 質問함으로써 消化하는 것이 가장 容易할 것이다. 다시 말해서, 그 問題가 計算機와 關聯지을 때 無意味해진다면, 그 問題는 시스템理論의 內容과 뜻을 갖고 있지 아니한 것으로 보고 取消된다(電子의 質量을 求하는 경우를 생각해 볼 것).

古典的 科學者(物理學者의 경우에 對하여 생각해 볼 것)로서는, 실제로 품고 있는 疑問을 풀기 위하여 設定한 模型에 對하여 實際의 物理的인 背景設定과는 無關하게 그 性質을 究明하여야 한다거나 또는 究明할 수 있다고 생각하는 것은 想像도 할 수 없는 일이다.

이와 對照的으로, 시스템理論에서는 보다 깊게 究明할 必要가 있는 것은 바로 이 抽象的인 模型의 性質이라고 主唱하고 있다.

이와 같은 本人의 主旨에 同調하는 專門人事(specialists)가 그렇게 많은 것은 아니나, 그것은 嚴然한 事實에 立脚한 것이다. 그것은 過去 3百年 동안의 遠心의 傾向에 異議를 提起하는 모든 科學에 對하여 統一기틀(unifying frame)을 마련할 것이 期約되므로, 적어도 注目은 할 價値가 있고 보겠다.

哲學的 論議에 對해서는 이쯤해 두기로 하자.

다음에는, 本講演의 大部分을 模型化에 關聯된 基本的 및 個個의 問題에 對하여 集中的으로 言及코져하는데, 이와 같은 問題들은, 예를 들면, 世界模型構成팀(world-model-building team)의 一部인 經濟學者에게도 直面하기 때문이다. 그리고, 本講演은 將次的 討議에 對備한 概括事項만을 言及하는데 局限할 것이므로, 여러 問題點이 모호한 狀態로 그대로 남을 것이다.

## 2. 模型의 來歷(Genesis)

어느 시스템의 模型을 設定하는 通常的인 節次는 明白하다. 既知의 事實과 메이타의 目錄을 編輯(compilation)하고, 利用 可能한 모든 數量 情報를 考慮하면서 方程式(또는 그 等價表現)을 세운다(計算機의 경우 自身の 回路나 블록圖에 依하여 模型化된다).

그러나 이와 같은 過程이 제 機能을 遂行하기 위한 經濟的 必須 假定은 物理的 現象을 支配하는 法則이

그 시스템 內容과는 無關하다는 點이다. 가령 日製抵抗을 프랑스製 電源裝置에 連結한 美製 計算機 內部에 넣어도, 예를 들면, 10<sup>20</sup>Ω의 範圍에서는 음法則이 틀림없이 成立될 것이다. 그 計算機 內部에서 그 抵抗이 어느 部分에 接續되었건, 그 計算機가 기거秒의 時尺度에서 動作하건, 피고秒의 時尺度에서 動作하건 相關한 것 없다. 어떠한 시스템이 구성되던, 누가 구성하건, 어떻게 구성하건, 왜 구성하건, 相關없이 음法則은 不變할 것이다.

그러나, 經濟學的의 必須的 特徵은 以上の 陳述이 單純히 그대로 適用된다고 할 수 없는데 있다. “供給과 需要의 法則”에 對하여 막연히 이야기하는 것만으로서는 充分치 않다. 그 對象市場을 明示하여야 한다. 19世紀의 物理學에서 至大한 假가를 뜻하는 “法則”이라는 用語는 經濟學에서는 單純히 名聲價(prestige value) [2]로서 使用될 따름이다.

經濟學은 시스템—결정적科學(system-determined science)이라 할 수 있으므로, 物理學에서 理解되는 바와 같은 “法則”이 經濟學에서는 存在할 수 없다.

本人은 이 자리에서 이와 같은 論據를 議論할 意向은 없으나, 需要는 自律的으로 決定된다는 케인즈의 偉大한 洞察은 어느 特定の 시스템내용(1930年代의 西歐 및 아마도 美國)에서만 適用된다는 點을 指摘하고 싶은 것이다. 至今 本人이 指摘한 이 點만으로도 “供給과 需要의 法則”을 “음法則”과 比等한 至高의 位置에 格上하려는 꿈을 埋設하기 充分한 것이다.

經濟學的 洞察의 非普遍性 또는 시스템—決定性은 模型化의 正常的 遂行을 阻害한다. 模型에 反映되는 (科學的) 情報의 量과 質은 以前의 研究結果에 너무나 依存된다. 換言하건대, 시스템理論은 基礎科學이 整理, 完成된 後에야 비로소 開始될 수 있는 것이다.

따라서, 다음과 같은 質問이 의례히 나오기 마련이다. 豫測(prediction) 또는 方策解析 및 最適化(policy analysis and optimization)를 위한 正確한 模型을 構成하는 過程에서 實際的으로 適用할 經濟理論은 어떠한 것이 있는가? 公認된 適用 經濟原則(economic doctrine)의 科學的 價値는 어느 程度인가?

本人은 이 質問에 對한 解答이 別로 申통치 않을 것으로 생각되어 의구심을 갖고 있다. 經濟學에서 이와 같은 基本的인 事項들이 解決되기 前에는 시스템 理論的인 質問이 不可避하게 前面에 登場하게 될 것이고, 이 點에서 經濟學은 科學分野에서 非正常的인 位置를 차지하고 있다고 하겠다. 아마도, 이것은 또한 經濟學的의 시스템—결정적 側面에 基因한 것이기도 하다. 現在, 模型構성이 基本的 假定에 關聯된 論爭때문에 遂

抄를 볼 수 없다는 不平이 많이 提起되는 徵候가 이미 나타나고 있다. 그 實例로서 볼(Ball, 1978)을 參照하라.

經濟學을 事前理論(a priori theory)에 依據하는 代身, 模型에의 데이터反映(form data to model) 法을 直接 處理하는 代案이 있다. 이 方法은 狀態가 너무 複雜하여 “깨끗한” 理論을 適用하기가 어려운 物理的 內容(現象)에도 實際로 適用하는 경우가 많다(實例: 油田探查), 그리고 이 方法은 原理面에서 언제나 可能하며, 實은 시스템理論의 研究의 中軸의 題의 하나이기도 하다(計算機의 경우: 그 回路圖가 반드시 주어주야 할 必要는 없으며, 可能한 모든 入出力 應答을 求함으로써 테스트할 수 있음). 最近의 시스템理論의 研究의 實例로서 하젠빙켈(Hazenwinkel, 1978)을 參照하라.

模型에의 데이터反映 法에 依하여 經濟問題를 다루는 代案은 이미 滿足스럽게 進捗을 보고 있는데(本國 際會議에서도 實例가 있음), 이것은 在來式으로 定義되고, 다루어진 經濟學을 打破하는 初期의 試圖로 간주된다. 模型化에는 傳授知識에 基礎한 正統經濟學보다는 別途의 專門知識이 주는 課題일이 必要해졌음이 分明하다. 模型에의 데이터反映法을 適用하는데 따른 새로운 難點과 論難點은 經濟시스템의 適應의 本性(intrinsically adaptive nature)인 바, 이 特性은 方策 樹立過程에서 介入된 理念的 편견이 우리가 포착하기를 바라는 現實에서 항상 離脫케 하는 原因이 됨을 뜻한다.

### 3. 拒否現象(Disclaimer)

“시스템理論이 實對象(real world)을 다루고(반영하고) 있는가?”라는 分明한 質問에 對한 對答은 “아니다”이며, 그 理由는 매우 簡單하다. 시스템理論은 模型만을 究明하는 것이어서, 이 模型의 正確性이나 實對策과의 相關性에 對하여는 責任을 지지 아니한다.

따라서 正確性이나 相關性에 대한 頭痛겨리는 模型 構成者가 解決할 問題이다.

일단 模型이 確定되어 그것이 實對策을 表現하는 것으로 받아들여진 然後에는, 시스템理論은 數學을 方便으로 하여 深奧한 問題에 對하여 解答을 얻으려고 努力을 하게 된다. 이것은 태만이나 獨斷이 아니라, 시스템理論의 公認된 普遍性과 適用-不感性(application-insensitivity)의 觀點에서 絕對적으로 必要한 것이다.

實對象시스템 性質을 최초로 알아내는 것은 시스템理論의 도움없이도 可能하다. 그러나, 다음에 言及하겠지만, 시스템理論은 實對象시스템에 對한 實際的

(practical) 취급에서 흔히 얻는 환상(착각)을 파괴하는데 능란한 손씨를 발휘한다.

限定的이긴 하나, 시스템理論은 抽象的인 問題 속을 透視하기 위하여 數學의 威力을 發揮케 한다. 훌륭하게 開發한 實驗的-生物學의 方法과 같은 것이 發見되기 前에는 數學 以外에는 別다른 可能代案이 있을 수 없다.

시스템理論은 오로지 이 方法만으로 個個 適用分野의 普遍性과 獨立性을 抽出할 수 있기 때문에, 보다 “高次의 水準”에 關한 概念의 形成을 追求함으로써 그 機能이 遂行된다. 그리고, 經濟學과 같은 시스템-決定的 分野에서는 그 進歩가 올바른 問題의 提起를 誘發하는 시스템理論에 主로 依存하게 된다.

基本的 科學探求가 次期(시스템理論的) 水準의 研究가 기밀 適切한 模型을 案出해 내지 못한 以上(經濟學의 各 分野에서는 特히 그러하다고 보아도 무방함), 原則적으로 시스템理論 自體가 適用의 限界性과는 無關하게 大膽한 데이터分析法에 의하여 不明의 模型을 提供하게 된다. 이 點에 對하여는 第5節에서 다시 論議하기로 한다.

必顏의인(어렵기도 한) 數學的인 수단에 依하지 아니하고서는 시스템理論의 發展狀況과 問題設定에 對하여 技術적으로 正確하게 記述한다는 것은 全혀 不可能하다. 그러나, 本人은 여기서 그 概念의인 指針만을 言及코져 한다.

시스템理論이 1960年代 中葉 以後 別로 많이 變遷하였다고는 할 수 없으나, 여러분은 現在 強調하고 있는 點이 칼만(Kalman, 1963년) 理論과는 相當히 다르다는 것을 認識하게 될 것이다.

### 4. 可到達性(Reachability) 및 可觀測性(Observability)

다음에는 模型보다는 시스템에 對하여 概述하기로 한다. 시스템이라 함은 다음의 兩者를 同時 뜻한다:

- (i) 問題와 概念의 動機(motivation)인 具體的(實際) 시스템,
  - (ii) 正確한 定義와 定理의 依支點(anchor point)이 되는 數學的 시스템 即 實際시스템의 “模型”
- 그러나, 本人은 이 자리에서 이에 對한 數學的 詳細說明을 하지 아니하겠으니, 여러분은 專問文獻을 參照하기 바란다.

시스템에 關하여 하고져 하는 가장 原始的이고 가장 有用한 質問中的 두가지는 다음과 같다.

시스템에 對하여 入力は 어떠한 影響을 주는가?

出力은 시스템에 關하여 무엇을 말해 주는가?

이들 質問의 內容을 具體化하기 위하여 狀態(state)

의 概念을 想起하자. 시스템 內部에 일어나는 모든 情報處理는 狀態變換의 形態로 表現된다고 생각하는 것이 便利할 것이다. 따라서, 첫 質問은 이 狀態에 對한 入力의 效果에, 다음 質問은 出力에 對한 狀態의 效果에 關한 것이라 하겠다. 그런데, 시스템理論을 非古典的인 科目으로 만들려던 內部的 狀態變數間의 相互作用을 究明하여야 한다.

시스템의 모든 部分에 入力이 接할수(accessible) 있으면, 即 適當한 入力에 依하여 어떠한 狀態도 生成할 수 있으면, 이 시스템은(完全히) 到達可能하다고 한다.

雙對論證(dual reasoning)에 依하여, 시스템의 內部的 條件, 即 시스템 狀態變數의 瞬時值가 出力에 包含된 情報에 依하여 언제나 決定될 수 있으면, 이 시스템은(完全히) 觀測可能하다고 한다.

可到達性과 可觀測性은 純粹시스템理論에 屬하는 概念이어서, 주어진 시스템의 個個的 實際의 具象體(embodiment)과는 無關하다(勿論, 시스템은 模型化되어야 하며, 그 作態를 方程式 集合으로서 表現하여야 하지마는). 이와 같은 概念은 얼핏 보기에는 空虛하고 抽象的인 것처럼 보이나, 實은 實際나 理論을 다루는데 있어서 廣範한 意味를 含蓄하고 있는 것이다.

線性시스템의 可到達性에 對한 뚜렷한 數學的 條件은 1950年代 以後 알고 있는 바인데, 이 條件은 包括的(generic)이다. 可到達성을 갖지 아니하는 시스템이나 模型을 構成한다는 것은 어려운 것이며, 이것은 시스템의 어느 "階層(layers)"에 入力을 人爲的으로 限定시키는 경우에만 可能한 것이다(그러나 物理學의 경우에는 그러하지 아니하다. 예를 들면, 모멘트의 保存法則이 成立하지 아니하는 경우에는 完全 可到達性이 없다. 바로 이 點이 古典的(物理學的) 觀點과 現代的(시스템理論的) 觀點의 直交性(orthogonal)이라 할 수 있다).

만일 시스템이 非可到達性인 경우에는 非可到達性을 갖는 狀態를 除去함으로써 可到達性 시스템으로 縮小할 수 있다.

可到達性(可制御性(controllability)라고도 부름)은 最適制御問題의 解를 얻기 위한 必要條件이다. 더욱이 可到達性은 模型이 잘 定義될 경우 理解하기 쉬운 應用數學 問題로 歸着될 수 있다는 點에서 充分條件이기도 하다. 따라서, 어떤(거의 모든) 시스템이(그 模型을 어디서 얻었건 相關없이) 可到達性을 갖는다면, 그 시스템은 最適制御할 수 있는 것이다. 이와 같은 事實을 알고 있는 以上, 시스템理論家는 "最適制御理論은 中期方策解析에 有用한 方便이다"라는 經濟學者로부터 칭찬을 받았다고 해서 感動할 것은 없다. 方便(tool)은

問題보다는 一般性을 가지며, 疑問은 올바른 方程式을 나오며, 이 疑問이야말로 經濟學者의 責任으로서 간주되어 왔던 것이다.

可到達性이 制御 問題를 다루는 基本的인 시스템理論 概念이듯이, 可觀測性은 測定 不可能한 變數의 推定問題를 다루는 基本的인 概念이다. "測定可能한 것은 制御할 수 있다"는 것은 "測定不可能한 것은 制御할 수 없다"는 것을 意味하는 것인지를 議論하는 것(物理學者의 경우를 생각할 것)은 옳다고 볼 수 없다. 測定不可能한 變數는 測定可能한 變數에 影響을 줌으로써 自身을 示顯한다. 즉, 그것은(시스템이 可觀測性이면) 測定不可能한 變數는 測定可能한 變數로부터 計算에 依하여 얻어짐을 意味한다. 可到達性처럼, 可觀測性도 또한 包括的인 性質을 갖고 있는 것이다. 따라서, 測定不可能한 變數는 언제나(거의) 出力으로부터 얻을 수 있게 된다.

所謂 "칼만 필터(Kalman filter)가 그렇게 人氣를 얻고 衝擊的인 것으로 것으로 받아들여진 것은 이 시스템理論的 結果가 包括的인 狀況에 雜音을 包含한 데이터로부터 變數를 再構成하는 正確한 解法을 提供한 事實에 基因하며, 이것은 바로 可觀測性의 確率的 雙對方(stochastic counterpart)이라 할 수 있다[Kalman, 1978年 參照].

時系列分析(time series analysis)에 對하여도 두드러진 業績이 있다[Kalman, 1979年 參照].

非可觀測性 시스템은 非可觀測 狀態를 除去함으로써 可觀測 시스템으로 縮小할 수 있다.

따라서, 以上의 두 가지 縮小過程을 適用함으로써 어떠한 시스템도 可到達性과 可觀測性을 同時에 갖는 시스템으로 簡約化할 수 있으며, 이렇게 簡約化한 시스템을 標準的(canonical)이라 부른다. 이러한 事實은 다음에 說明하겠지만은 시스템理論의 基本的 새 아이디어라 할 수 있다.

### 5. 實現理論(Realization theory)

시스템理論은 完全한 模型에서부터 始作된다. 시스템理論의 普遍性을 主唱하기 위하여는 그것이 다음 質問을 解決하여야 한다. 시스템理論 結果는 對象模型을 樹立한 研究者의 偏見과는 無關한가? 同一 시스템에 두가지 相異한 方法論을 適用하면 相異한 模型이 產出되는? 正直한 意見差나 背景差가 있어도 模型構成에 있어서 違反할 수 없는 "絕對性(absolutes)이라는 것이 있을 수 있는가? (本人이 使用하는 "絕對"라는 用語는 "物理的 法則"의 代名詞임에 留意할 것).

그렇게 廣範한 個個的 專門分野에까지 시스템理論이

라고 들어간 理由는 시스템理論이 以上 質問에 對하여 眞正, 明瞭하고 不變의인 解答을 줄 能力을 가진 데 있다. 이 點을 안다면, 시스템理論의 당돌한 침입에 對하여 화를 덜낼 것이다.

專門의으로 말하자면, 以上 問題를 다루는 分野를 實現理論(realization theory)이라 부른다. 實現이라 함은(具體的) 시스템의 作態에 關한 모든 利用可能 情報가 模型과 兩立하여야(모순되지 아니) 한다는 條件 下에 그 시스템의 作態를 表現하는 模型을 뜻한다. 여기서 作態(behavior)라 함은 普通 入力出力데이터, 자극/반응(stimulus/response) 類型(type)를 뜻하나, 그 概念의 테두리는 極히 一般性을 띠고 있기 때문에, 이와 같은 限定的인 定義에만 依存하는 것은 아니다. 어느 意味에서는, 實現이라 함은 實際 시스템의 作態를 자극하는 計算上의 特定方式이기도 하다.

實現은 항상 存在한다라는 것을 證明하는 것은 重言 復言이 되는 感이 든다. 理論的인 問題는 一般的으로 "데이터→模型"의 過程이 多對一(many-to-one)일 때만이 意味를 갖는다. 模型이 데이터만에 依存하지, 外界의 偏見(biases), 例를 들면, 實現을 構成하는 特定 節次나 알고리즘에 依하여 導入된 偏見에 左右되지 아니 하도록 模型을 定義하는 方式(標準方式)이 存在하는지가 問題이다. 歷史的으로 至今까지 開發해 온 數 많은 模型속에는 그와 같은 偏見이 介在하고 있으며, 깊이 調査해 보면 이를 正當化할 수 없다. 이 問題는 미묘 해서 通常的인 言語로서는 嚴密, 正確하게 表現할 수 없는 數學的인 見解를 必要로 한다.

本人은 그 요체가 되는 結果를 다음과 같이 表現코져 한다.

定理. 어떤 動態시스템에 關한 固定分量의 入出力 데이터가 주어졌다고 생각하자. 이 경우,

(i) 同一 데이터에 立却한 어떠한 두 標準實現(canonical realizations)도 同一構造的(isomorphic)이다.

(ii) 標準實現은 데이터만에 依存한다.

여러분은 이 結果에 對한 詳細한 文獻은 여러 곳, 例를 들면, 칼만(Kalman, 1974)에서 볼 수 있다.

萬若 "標準的(canonical)"이라는 用語가 完全 分明하고(explicit), 檢證possible(testable) 定義, 即 可到達性 및 可觀測性이라는 뜻을 가질 수 있다는 屢 多幸한 事實이 없다면 以上 定理은 無効일 것이다.

提示된 模型이 實은 標準的인 아닌 경우가 許多하다. 그러나 이 경우는 可到達성과 可觀測性 檢證을 함으로써 이를 瓦解할 수 있다(嚴密히 말해서 標準 서브 시스템(subsystem)으로 縮小 可能하다).

簡便한 經濟 問題의 實例로서, 레온티프(Leontief)

入出力模型의 標準模型으로의 再構成에 關한 리브시어(Livesey, 1975)의 研究에 對하여 言及하기로 한다. (이 模型에서는 "狀態"라는 用語가 非確定的(fuzzy, 우리나라에서는 아직 適切한 번역 用語가 없음) 이어서 그 固有의 性質에 따른 適切한 定式化를 위하여 시스템理論的 解析이 要請되고 있다).

雜音이 含有된 通常的인 傳送過程에 依하여 上述한 結果가 各 分野(例를 들면 工學)에 適用되는데, 그와 같은 傳送過程에서는 定理의 內容이 때로는 다음과 같이 왜곡되어 오기도 하였다: 데이터集合이 주어지면, 이에 對한 1個의 最小實現(minimal realization)이 存在한다. 여기서 "最小"라 함은 實現이 그 實現을 構成할 때 使用한 데이터를 再生한다는 基本的 要件에 符合하면서 그 變數(및 패러미터)의 數가 可能한 限 격을 意味한다. 패러미터의 最小數와 같은 "經濟學的" 推理를 科學原理(極度的 "縮小 模型化(parsimonious modeling)"의 位置까지 格上시키는 데 對하여는 本人은 同意할 수 없다. 왜냐 하면, 本人이(그리고, 오래前부터 다른 數學者들이) "標準的"이라고 부르는 것이 適用할 수 있는 正確한 概念이라는 事實이 數學的 解析에 依하여 立證되기 때문이다. 그러나, 線型性 文意(linear context)의 "標準的은 最小"를 意味하고, "最小"와 等價이기도 하다는 事實은 興味로운 特殊 結果이다.

上述의 定理가 갖는 眞正한 뜻은 데이터와 그 標準 實現(模型) 사이에는 1對 1의 對應關係가 있다는 點이다. 同一한 데이터를 使用하여 여러 사람이 各其 模型을 作成할 경우, 變數를 實質的으로는 아무 影響을 주지 않도록 再指定하는(即 "同一構造的(isomorphism)" 임을 뜻함) 경우를 除外하고는, 모두 同一한 結論에 到達하여야 한다. 이것은 實對象에서는 지켜지기가 매우 힘든 "法則(law)"이긴 하나, 음의 法則과 마찬가지로(또는 그 以上인) 絕對法則인 것이다.

이 世界가 唯一하고, 여러 사람이 同一 데이터를 共有한다면, 그들이 構成하는 世界模型도 唯一하여야 한다. 本人은 이 말을 함으로써 世界模型 樹拉者가 失職하고 그로 因하여 非難을 받고 책망을 받고 싶은 생각은 없으나, 어떠한 模型化 活動이나 그 結果로 樹拉된 模型은 시스템 理論에서 導出된 上述의 事實에 立却하여 踴입없는 批判을 받아야 한다는 點을 當부하고져 한다.

正確하게 定義된 線型경우에 對하여 上述의 結果를 철저한 數學的 解析에 依하여 證明을 하고 보니, 더욱 놀람게도 非線型的인 경우에도, "可到達性"과 可觀測性에 對하여 嚴密한 技術的 意味를 부여하기만 하면 上

述의 定理가 그대로 通用된다는 事實(實現)을 알게 되었다. 이 事實은 존타크와 루살루(Sontag and Roucheau, 1976)에 의하여 最初로 證明되었다. 따라서, 지금까지 本人이 言及한 概念的인 陣述은 普遍妥當性을 지닌 것으로 간주하여야 할 것이다.

上述한 基本定理는 問題 對象이 되는 데이터가 完全함을 即 該當 標準模型을 完全히 記述하기에 充分함을 分明히 內示한다. 換言컨대, 이 定理는 模型樹立에 얼마만큼의 分量의 데이터가 所要되는지에 對하여 分明한 概念을 默示的으로 提供한다. 이 方面에 있어서의 繼續的인 理論研究 結果로 所謂 部分實現理論(partial realization theory)이라는 것이 登場하였는데, 여기서는 任意 分量의 데이터에 立却한 模型에 對하여 그 性質을 究明하고 있으며 (칼만(Kalman, 1971) 參照), 經濟學 分野에서 主要 關心事가 되고 있다. 시스템 理論은 “完全”과 “不完全”이라는 모호한 日常 概念에 對하여 뚜렷한 概念을 提供해 주고 있다.

### 6. 패러미터(Parameters) 및 不變量(Invariants)

科學的 理論의 꿈은 새로운 패러미터와 不變量, 即 測定可能하며 測定者의 個人的 또는 理念的 偏見이나 測定力便과는 無關하게 누가 測定(調査)하여도 客觀的으로 同一한 特質性을 찾아내는 것이다(質量이나 에너지의 경우를 생각할 것).

이와 같은 野望은 實現理論에 依하여 成就되는 것이다. 왜냐하면 標準模型은 그 構成時 使用되는 데이터에 依하여 唯一하게 決定된다는 것이 이 實現理論에 依하여 證明될 수 있기 때문이다. 따라서 標準模型은 어떤 “絕對的” 意義를 갖게 된다.

그러나 이와 關聯해서 몇 가지 重要な 留保條件이 있다.

시스템의 外的記述(人出力 데이터처럼)만이 具體的 意味를 갖고 있으므로, 시스템 속에 內包되고 있는 모든 不變量은 이 外的記述과 어떠한 형태로이건 聯關되고 있음에 틀림없다. 따라서, 그 시스템의 內部 構成要素(普通 測定하기 가장 쉬운 것)는 시스템 그 自體에 關聯된 基本的 屬性(特性)을 지니고 있지 않다고 볼 수 있다. 더욱이, 시스템 不變量에 對한 內部 構成要素의 奇異性은 너무나 複雜하고 非直觀的이어서 數學的 解析을 要한다.

예를 들면, 經濟시스템의 “安定度(stability)”는 그 構造의 相關性이 不變하는 限 一種의 不變性質(invariant property)로 보아야 할 것이다(本人은 至今시스템의 安定度を 말하는 것이지, 시스템內的 變數의 어떤 部分集合의 特定 時特性에 對하여 이야기 하는 것이 아니다).

그러나 實際 經濟問題를 다루는 경우에 있어서는 그 安定度を 求하려면 그 여러 部分間的 相互作用에 對한 詳細한 知識이 所要된다. 이 點은 經濟學的 通常的 “集合體” 側面(“Aggregation” aspects)의 범주를 초월하는 問題이어서 시스템理論의 테두리 밖에서 議論해 보았대자 그 成果를 期待할 수 없는 것이다.

古典的인 物理學的 범주에서 너무 벗어나면, 패러미터라는 概念 自體도 그 絕對的 意味를 喪失하게 된다. 經濟學的, 生物學的 및 其他의 시스템-決定的 狀況에서는 絕對的으로 定義되는 패러미터라는 것이 存在하지 아니하므로 實驗家들이 이 狀況을 다루기란 힘든 것이다. 따라서 이에 對한 시스템理論의 代案은 實現理論이 마련한 概念테두리內에서 보다 抽象的인 方法으로 시스템의 패러미터化를 研究하는 것이다(하제빈켈(Hazewinkel, 1978)의 最近 研究를 參照할 것).

(第28卷 第10號 (10月)에 계속)