

産業連関表とシステムダイナミックスを用いた 河川事業のLCA評価

LIFE CYCLE ASSESSMENT FOR RIVER WORKS USING I/O-TABLE AND SYSTEM DYNAMICS

小林華奈¹・松崎浩憲²・白川直樹³

Kana KOBAYASHI, Hironori MATSUZAKI, Naoki SHIRAKAWA

¹正会員 株式会社 建設技術研究所 河川本部 (〒103-8430 東京都中央区日本橋本町4-9-11)

²正会員 博(工) 同上(同上)

³正会員 東京大学大学院工学系研究科 助手 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)

Nature friendly river works are well known to have an effect of reducing carbon dioxide. When "River Works, nature was made the best use of" for the ninth flood control project in seven years is achieved, we design the LCA technique. The effect of the reduction of carbon dioxide is evaluating analyzed. The LCA evaluation of the Tamagawa River was concretely done by the input-output analysis of interindustry relationships and System Dynamics. The input-output analysis was pursued from money the effect to all industries which the reduction of carbon dioxide brought respect. System Dynamics pursued the behavior of the social event which was not able to be heard of from an economical side.

Key Words : Nature friendly river works, CO₂, Tamagawa River Basin, river planning

1. はじめに

多自然河川工法はコンクリートを多用した工法よりCO₂削減効果があることが知られている。本論文では、第9次治水事業七箇年計画における「自然を活かした川づくり」が実現した場合のCO₂の削減効果を評価分析するLCA手法を考案した。LCAには大別して3通りあるが、この中から経済学の分析手法を応用したトップダウン計算である産業連関分析と、社会システムの複雑な相互依存関係のフィードバック・ループに着目したシステムダイナミックスを採用した。具体的には、多摩川流域を例にとりあげて、産業連関分析では、CO₂の削減がもたらす全産業への波及効果を金銭的な面から追求し、システムダイナミックス(以下SDとよぶ)では、経済的な側面からばかりでは把握できない社会事象の振る舞いを追求した。

2. 河川事業のCO₂削減による経済波及効果

建設省河川局では自然を活かした川づくりを進めており、平成9年度からの7箇年計画で約50%の河川でコンクリートを使わない川づくりを行う予定である。本論文では、第9次治水事業七箇年計画を実施することにより、CO₂がどの程度削減できるのかを関東地方の代表的な都市河川である多摩川流域をモデルにして算出を試みた。さらに、産業連関分析

を用いて、多自然型工法を取り入れてCO₂を約50%削減した場合の経済波及効果を検討した。

(1) 多自然型川づくりによるCO₂削減量の算出

多自然型川づくりは、それぞれの川の個性に応じた様々なタイプがある。本論文では、土木研究所の調査による定義にならい、従来工法として「コンクリートの見える川」、多自然型川づくりとして、「植生による川」をとりあげ、それぞれのCO₂排出量原単位を用いた。表-1、表-2に示すとおり、単位河川延長当たりのCO₂排出量は従来型だと1,746ton/km、多自然型川づくりを用いると8ton/kmである¹⁾。

次に、対象とした多摩川本川において、現行の工事実施基本計画²⁾に基づき河川整備を行う場合に、従来工法を用いた場合(ケース1)と、多自然型川づくりを取り入れて築堤・護岸工事を行って、CO₂排出量を従来工法の約50%まで減らした場合(ケース2)の比較を行った。結果は表-3に示すとおりである。今回は築堤・護岸工事、またダム建設による排出量³⁾のみを対象とした。ケース1の場合、築堤・護岸工事によるCO₂排出量は約20万ton、ダム建設によるCO₂排出量は約50万tonである。ケース2では、築堤・護岸工事からの排出量が50%になり、事業全体のCO₂排出量は約60万tonになる。この河川では、護岸・築堤工事対象区間のうち約45%を多自然型工法に変えればCO₂削減率50%を達成できることが分かった。

表-1 従来工法の CO₂ 排出原単位

工種	種別	単位	数量	CO ₂ 原単位 (ton/単位量)	CO ₂ 発生量 (ton)
土工	掘削	m ³	64000	3.21E-04	20.6
	築堤	m ³	58000	2.83E-04	16.4
	埋戻し	m ³	6000	5.09E-04	3.1
	締固め	m ³	6000	2.17E-04	1.3
	運搬	m ³	18000	8.76E-04	15.8
護岸工	基礎コン	m	2000	2.65E-02	53.1
	天端コン	m	2000	9.15E-02	183.0
法覆工	ブロック積	m ²	14000	9.06E-02	1268.4
	法面整形	m ²	38000	4.72E-04	15.1
水替工	張芝工	m ²	26000	3.05E-04	1.2
	筋芝工	m ²	12000	1.81E-04	2.7
その他	水替工	式	1	5.01E+00	5.0
	運搬	式	1	1.60E+02	160.0
合計					1745.7

表-2 多自然型川づくりの CO₂ 排出原単位

工種	種別	単位	数量	CO ₂ 原単位 (ton/単位量)	CO ₂ 発生量 (ton)
土工	掘削	m ³	41000	3.21E-04	13.2
	築堤	m ³	41000	2.83E-04	11.6
	運搬	m ³	8000	8.76E-04	7.0
法覆工	法面整形	m ²	38000	4.72E-04	17.2
	張芝工	m ²	26000	3.05E-04	7.9
	筋芝工	m ²	12000	1.81E-04	2.2
水替工	水替工	式	1	5.01E+00	5.0
その他	運搬	式	1	6.48E+00	6.5
小計					70.6
植物による固定量 26,000×2.4/1,000					-62.4
合計					8.2

表-3 多摩川本川における従来工法と多自然型川づくりの CO₂ 排出量の比較

	ケース1 (従来手法)	ケース2 (多自然型)	削減量
築堤・護岸工	208,183	104,778	103,405
ダム建設	501,614	-	-
合計	709,797	606,392	103,405

単位: ton

(2) CO₂削減量の貨幣換算

多自然型川づくりを推進した場合、従来工法よりも10%から20%事業費がかかることが知られている⁴⁾。しかし、事業を経済的に評価する際にはCO₂排出量が削減された分を便益として扱うこともできる。つまり削減された量のCO₂を人工的に固定するために必要な金額を被害額として従来工法の事業費に計上できる。例として、発電の過程でCO₂削減策を取った場合を取り上げ、発電方法によるCO₂削減

にかかる費用の原単位⁵⁾を実際の発電量の割合に応じて割り振ると、CO₂削減の原単位は4.02 (万円/ton CO₂)になる。それにより(1)で求めた2ケースでのCO₂排出被害額は表-5のとおりそれぞれ1,147億円、980億円になる。

表-4 電力部門でみた CO₂削減費用単価

	削減費用原単位 (万円/ton CO ₂)	発電量割合 (東京電力)	削減単価割り振り (万円/ton CO ₂)
原子力	2.35	42.90	1.15
水力	2.79	7.30	0.23
LNG発電	6.00	37.13	2.54
石炭発電	9.20	0.00	0.00
新エネルギー (平均値)	27.52	0.30	0.09
合計	—	87.63	4.02

表-5 河川事業における CO₂ 排出被害額

	ケース1 (従来手法)	ケース2 (多自然型)	削減 被害額
築堤・護岸工事	836,741	421,130	415,611
ダム建設	2,016,120	-	-
合計	11,466,401	9,795,949	1,670,452

単位: 万円

(3) 産業連関分析による経済波及効果の算出

本稿では、多自然型川づくりと従来工法の工種別のコストが得られた九州地建松浦川水系厳木川での護岸工の事業費の単価⁶⁾をベースとした。その上で、両工法を行った場合の対象河川の事業費を算出した。その上で、関東地方の地域産業連関表を用いて各ケースでの生産額の差を算出した。結果は表-6に示すとおり、農業部門で24.51億円、公共事業部門で95.50億円、対事業部門で14.41億円の増加となった。

表-6 多自然型川づくりによる経済波及効果(部門ごとの生産額)

	従来工法	多自然型工法	生産額の差
農業	3,587,575	3,590,126	2,451
公共事業	6,730,446	6,739,996	9,550
対事業	21,377,116	21,378,557	1,441

単位: 百万円

3. システムダイナミックスの概要

(1) SDについて

社会システムには、原因がある結果を起こし、これがさらに、原因を取り巻く環境に働きかけて、原因自体を変化させる多重フィードバック・ループが存在する。原因と結果、原因と現象が時間的、空間的に離れていて、非線形である。構成要素間には因

果律とは別の複雑な相互依存関係がある⁸⁾。

このような社会システムの挙動を知る手法としてSDがある。SDはレベル、情報、レート、行動といった4つの基本要素がフィードバック・ループ上に1つのセットとして組み込まれて機能することがSDの基本的な特徴である。図-1に実際の社会システムをSDの構成要素に置き換えた基本概念をしめす。

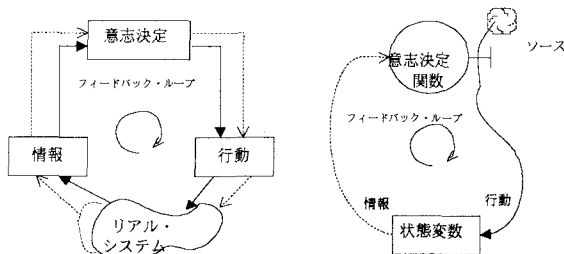


図-1 SDの基本概念図

(2) SDの構成要素と役割

- ①レベル（ストック）：人口、在庫などシステムの中で集積される量をいう。
- ②レート（フロー）：人口、死亡数、入荷量、出荷量などの単位時間当たりにレベルに流入あるいは流出するフロー、つまりレベルの変化量をいう。ここでは、他動的にしろ、自動的にしろどの程度の量を流すかが意志決定される。
- ③補助変数：レートにおいてなされる意志決定に必要な様々な判断材料を示す。
- ④ソースとシンク：対象とするシステムが部分モデルである限り、レートの一部はシステムの外から入ってきて、システムの外へ出ていくことになる。このレートの流入、流出先を各々ソースとシンクという。
- ⑤ネットワーク：上記4つの構成要素の間を、モノ、カネ、情報など様々なものが移動し、伝達される。これを矢印によって方向を持つ線として表し、2つの構成要素間を結ぶ。
レベルを制御する方程式はレベル方程式（連続式）で、 $\frac{ds}{dt} = I - O$ で表現され、I、OがレベルSによって制御されるレート方程式または任意の関数からなり、これらが連立して、相互に複雑に関連して全体の系を構成している。

4. 河川事業のLCA評価

(1) SDモデル

河川事業のSDモデルを構築し、LCA評価を行う。流域内における人口、水資源、都市施設、環境など主要変数について、流域外部との関連を考慮しながら、流域内における挙動を検討する。図-2にモデル図を示した。主要変数は、①人口移動、②水資源、③都市施設（市街地面積、地下、公共施設、交通）、

④環境指標（河川水質、大気汚染 $[CO_2]$ 、治水安全度、魅力度）の4項目を考えた。

(a)人口セクター

- レベル：初期人口 $\Rightarrow$ 現在の流域人口
 レート：死亡率 $\Rightarrow 0.3\%$
 出生率 $\Rightarrow 0.15\%$
 転出入率 $\Rightarrow \text{Min}(\text{人口密度差による増加量, 都市施設による増加, 地価による増加, 受け入れ可能量})$
 補助変数： $\Rightarrow$ 人口密度差による増加量…（多摩川流域人口密度－流域人口／市街地） $\times 10^{-5}$
 $\Rightarrow$ 都市施設による増加量…（（公共投資／全日平均保有施設）－1） $\times 2 \times 10^{-6}$
 $\Rightarrow$ 地価による増加量… $-10^5 / 140000 \times \text{地価} + 10^5$
 $\Rightarrow$ 受け入れ可能量… $\text{Min}(\text{市街化面積による制約, 水資源による制約})$
 $\Rightarrow$ 市街化面積による制約＝市街化面積 $\times$ 最大過密－人口
 $\Rightarrow$ 水資源による制約＝（水資源残存量／1人1日平均使用水量） $\times$ 節水率

(b)市街化セクター

- レベル：市街化区域 $\Rightarrow$ 現在の面積
 レート：農地、山林転用率 $\Rightarrow \text{Max}(\text{需要面積転用率, 地価転用率})$
 規制 $\Rightarrow$ 政策
 補助変数： $\Rightarrow$ 需要面積転用率…（0.001/80） $\times$ （需要率－平均需要率）
 $\Rightarrow$ 需要率人口／市街化区域
 $\Rightarrow$ 地価転用率…（0.01/70000） $\times$ 地価差
 $\Rightarrow$ 地価差＝多摩川地域の地価－地価
 $\Rightarrow$ 土地の利用低下＝地盤沈下面積 $\times$ （5/3000） $+$ 氾濫面積 $\times$ （1/3000）

(c)地価セクター

- レベル：地価 $\Rightarrow$ 現在の地価
 レート：地価変動 $\Rightarrow$ 環境による修正（通勤時間による上昇、地価差による上昇）、需要率による下降
 補助変数： $\Rightarrow$ 環境による修正…環境指標による
 $\Rightarrow$ 通勤時間による上昇…短縮された通勤時間 $\times$ 時間あたり単位面積あたり生産単価（40,000円/ m^2 /hr）
 $\Rightarrow$ 地価差による上昇…地価差 $\times 0.05$
 $\Rightarrow$ 需要率による下降…70000－70000／理想人口密度（50人/ha） $\times$ 需要率
 $\Rightarrow$ 需要率＝人口／市街化面積

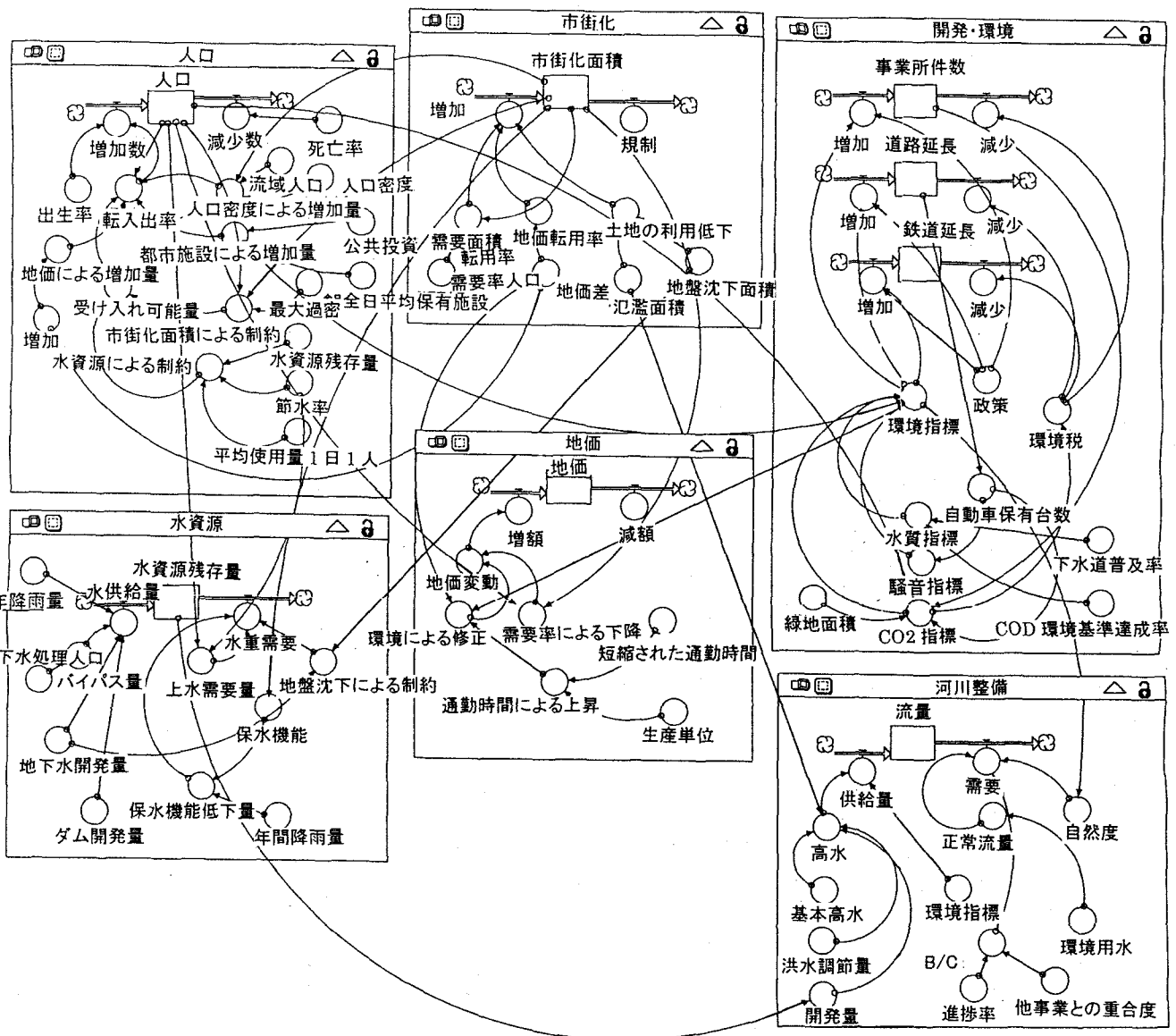


図-2 システムダイナミックスのモデル構成

(d) 開発・環境セクター

レベル：道路延長

レート：道路計画

レベル：鉄道延長

レート：鉄道計画

レベル：事業所件数

レート：事業所計画

補助変数：環境指標

⇒現在の値

⇒政策

⇒現在の値

⇒政策，企業方針

⇒現在の値

⇒政策，企業方針

⇒ $1/4$ (都市施設指標 + 騒音指標 + 水質指標 + CO_2 指標)

→都市施設指標 = (公共投資 / 全日平均保有施設) - $1.0 \leq 1.0$

→騒音指標 = (自動車保有台数 / 道路延長) / 全国平均 - $1.0 \leq 1.0$

→水質指標 = $0.5 \times$ (下水道

普及率 + COD の環境基準達成率)

→ CO_2 指標 = (人口 + 自動車

交通量 + 事業所]) α - 緑地面積 β

: 環境税 ⇒炭素税による制約

(e) 水資源セクター

レベル：水資源残存量 ⇒現在の値

レート：水需要量 ⇒上水需要量 + バイパス量 + 保水機能低下量

水供給 ⇒ 年降雨量 + 地下水開発 + ダム開発

補助変数：⇒上水需要量 $\cdots$ 人口 $\times$ 節水率 $\times 1.0 m^3/day$

⇒バイパス量 $\cdots$ 下水処理人口 $\times 0.03$

m^3/day

⇒保水機能低下量 $\cdots$ 年間降雨量 - 保水機能

→保水機能 = (市街化面積 $\times$ 市街化保水率 0.4)

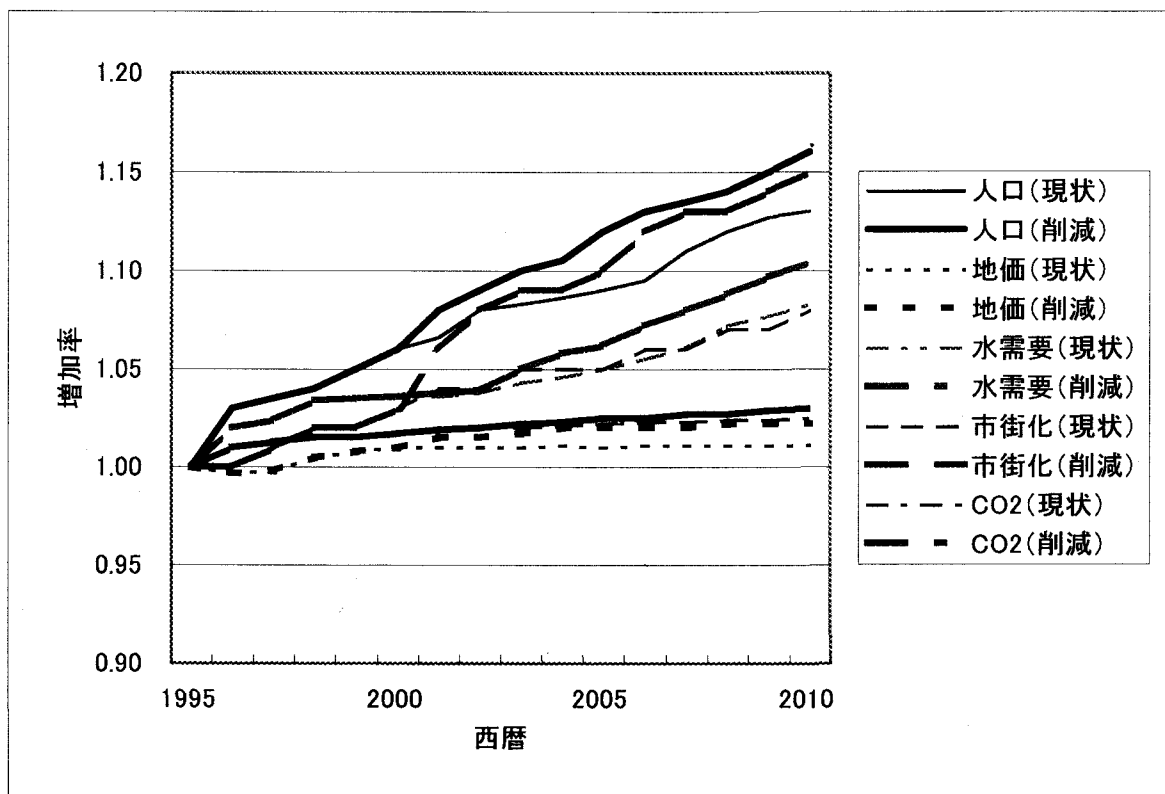


図-3 SD による将来予測

⇒地盤沈下…地下水開発量×1トンあたりの沈下影響範囲 0.001ha

⇒政策…節水率, ダム開発量, 地下水開発量

⇒水資源の B/C… (開発水量単位)

(f) 河川整備セクター

補助変数: ⇒高水 …基本高水+開発による流出量増加—洪水調節量

⇒氾濫面積…計画高水による想定氾濫面積

⇒自然度…多自然型川づくりの進捗率

⇒正常流量

⇒環境用水…流域 1km² あたり年間 0.01m³/s

⇒河川整備の B/C… (河川延長単位)

⇒環境指標

政策: ⇒河川整備方針の施策実施の進捗, 河川公園など他の事業との重合度

(2) LCA 評価

多摩川流域で河川工事におけるCO₂排出量を50%削減が実現した場合と, 削減対策をとらない現状のままであった場合の2つのシナリオにもとづいて, 各種統計資料を用いてシミュレーションを行った。結果を図-3に示す。

CO₂の50%削減が実現した場合には, 河川環境が向上し人口が増加する。それにとまって, 地価, 水需要, 市街化面積の増加が予測される。このように

都市化が進むことによって, 逆にCO₂の排出量が増加するため, 市街化の抑制をする政策, たとえば農地転用率の制限, 環境税などの導入によって, 都市化をおさえることが必要となってくる。このように, 流域全体のCO₂排出量を減少させる政策シナリオのシミュレーションもこのモデルで可能となる。

5. まとめ

検討の結果, 以下のことが明らかになった。

多摩川本川流域で河川工法に多自然型を取り入れ, CO₂排出量50%削減というシナリオが実現すると, 約10万tonの排出が抑制される。また, 産業連関分析によって, 多自然型護岸工事を実施した場合に, 農業分野を中心とした産業に25億円程度, 公共事業分野を中心とした産業に約96億円程度のプラスの経済波及効果をもたらすことがわかった。

また, SDによって, 流域社会では, 2010年時点で人口増加, 地価上昇, 水需要増加, 市街化面積の増加などによって, 逆に総CO₂排出量は多くなることがわかった。セクターの組み方, 変数の与えかたなど今後検討課題を残すが, このSDモデルは環境政策などの導入検討のためのLCA評価支援ツールになりうると思われる。

参考文献

- 1) 島谷幸宏, 小野和憲, 葦場祐一 : 自然を活かした川づくりによるCO2排出量の削減, 土木技術資料, 第40-6, pp. 56-61, 1998.
- 2) 建設省関東地方建設局京浜工事事務所: 多摩川水系工事実施基本計画検討事項, 1997
- 3) 小泉泰通, 高橋則男: ダム建設のライフサイクル評価, 第4回地球環境シンポジウム講演集, pp. 48-55, 1996.7
- 4) 玉井信行, 白川直樹, 松崎浩憲: 自然復元を目指す河川計画における費用・便益分析について, 水工学論文集, 第42巻, pp. 271-277, 1998.2
- 5) 内山洋司: エネルギーシステム・経済コンファレンス, トータルシステムから見た発電プラントのCO₂/コスト分析, エネルギー経済, pp. 27-35, 1993
- 6) 建設省資料: 多自然型工法施工のコストについて, 1997
- 7) 通商産業省 調査統計部, 関東通商産業局: 平成2年 関東地域経済の産業連関分析, 1995
- 8) たとえば, 島田俊郎: システムダイナミックス入門, 日科技連, 1994.2
- 9) 神奈川県: 県勢要覧'95, 1996.3
- 10) 神奈川県: かながわ地下水総合保全計画, 1993.12
- 11) 神奈川県: 神奈川県環境基本計画, 1997.3
- 12) 神奈川県: 事業所統計調査結果報告(平成3年), 1993.3
- 13) 神奈川県: かながわ環境白書'95, 1996.3
- 14) 神奈川県: 水質調査年報(平成元年), 1991.3
- 15) 神奈川県防災会議, 神奈川県地域防災計画—風水害等対策計画—(平成元年修正), 1990
- 16) 神奈川県: 神奈川県都市整備統計年報(1994), 1995.3
- 17) 神奈川県: 神奈川の土木行政のあゆみ, 1993.6
- 18) 神奈川県: 神奈川の下水道事業, 1990.8
- 19) 国土庁: 地価公示, 1995.4

(1999.4.26 受付)