

SDの重要要素： Common body of knowledge in SD

専修大学 商学部
高橋 裕
takahasi@isc.senshu-u.ac.jp

システム・ダイナミックス (SD) とは

- ▶ 問題解決や方針決定に役立つインサイトを得るための分析手法
- ▶ コンピュータ・シミュレーションを使用
 - シミュレーション→逐次計算
- ▶ ダイナミックなふるまいに着目
- ▶ 分析対象を「システム」と捉え、モデル化

2

システム：複数の要素があり、特定の目的のためにそれらが機能する

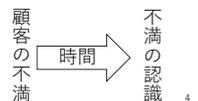
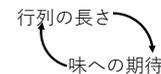
- ▶ 身の周りにたくさんある
 - 企業や官庁、学校、チーム、地域などの人の組織
 - 生態系などの自然環境
 - 会計制度や法制度など手続きのまとまり
 - これらの複合
- ▶ 科学的分析手法は現代に入ってから発展



3

多くの現実のシステムは複雑

- 変化に対する対応が非線形
- フィードバックループ(因果関係の連環)
- 遅れ(移動・状態遷移・情報伝達など)



4

複雑なシステムの特徴

- ▶ 何か一つだけを実現することはできない
 - 物事はつながりあっている
 - 我々自身がシステムの中にいる
 - 自然が検討の対象であって#を及ぼす
 - 「今日の解決」は「原因」にも
- ▶ 小分け・単純化は解決できないかも
- ▶ シミュレーション(逐次計算)が分析に有効

SDなら複雑なシステムを分析できる!

5

SDを使う/学ぶ/教えるのに 不可欠な要素

SDをSDたらしめている特徴

Common body of
knowledge

SDの共通知識体系

(専門領域を構成する概念、用語、および活動などの完全セット)

6

RTで出たCommon body of knowledge 要素

お題：SDに初めて取り組む授業で取り扱うべき事柄は？
(ブレインストーミングとして。合意ではない。)

- 定義や議論
 - フィードバックループ、因果関係、ストックとフロー、(ストックの)蓄積、遅れとその種類、反復的(iterative)モデリング、方針や意思決定、モデルで得られた洞察の伝達、変数間の関係、モデルの規模・範囲・階層
- リファレンスモード (あるいはBOTグラフ)
- SDの適切な利用(どんなとき使うべきで、どういうとき使うべきでないか)
- なぜSDは役立つのか
- SDと他の手法との比較
- 例題モデルの分析

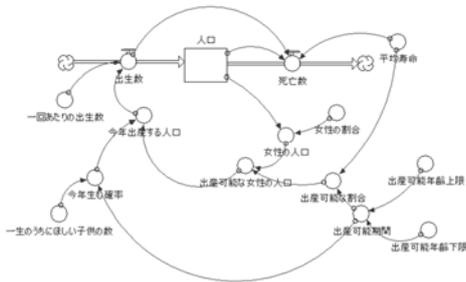
7

重要なのは フィードバック・ループ (循環する因果関係)

8

ループ構造を際立たせた記述

■ストックフローダイアグラム



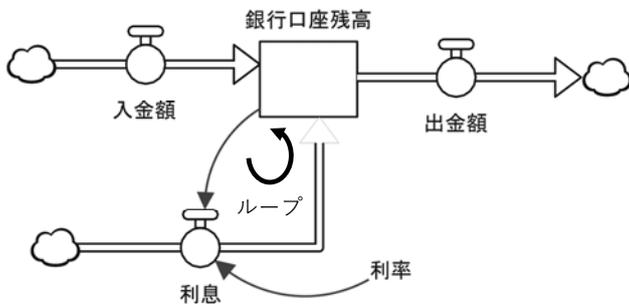
9

SDの図で使われる記号

アイコン	名前	表す内容
	ストック レベル	ある時点で ・ たまっている量 ・ 残っている量 ・ 特定の状態にある量
	フロー レート	あるストックのある時点の ・ 変化量 ・ 流入量 ・ 流出量
	又は 無印 補助変数 コンバータ	上記以外の量 他の量の「言い換え」
	リンク 矢印	根本：情報の提供元 先(鏝)：情報を利用する変数

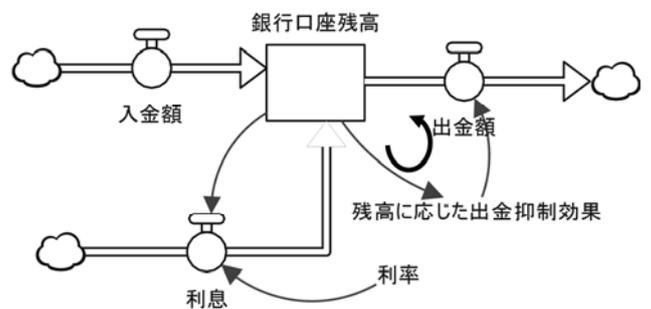
10

銀行に預けてあるお金もストックです



11

現実にはもう一つループがあるかも



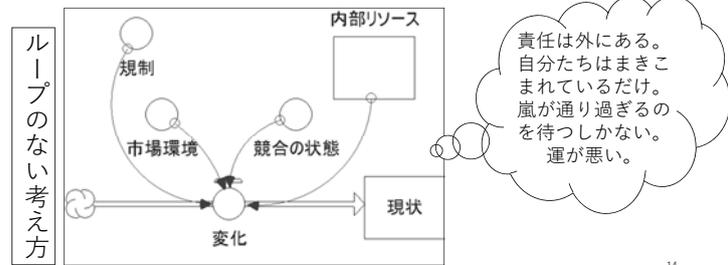
12

SDを使うべき問題

- ダイナミックな変化を描く必要性がある
- 明確な分析の目的がある
- ◎問題解決や状況改善を志向
△ある時点の予測値算出
- クライアントにとって重要な問題
→ループを直視し、「内側」に原因を見出すには、覚悟が必要だから

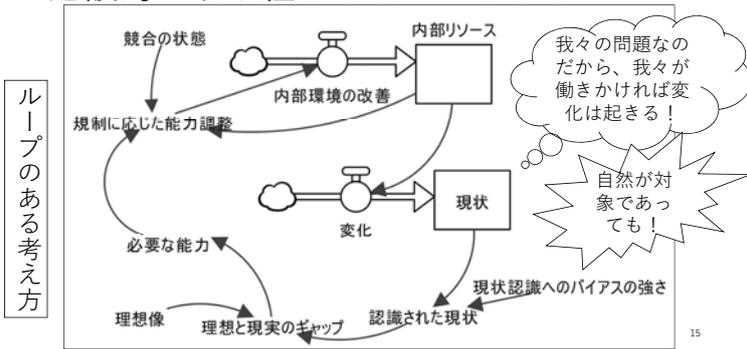
13

フィードバックループの無視は、外部に根本原因があると考え、他者への批判や諦めにつながり、問題解決から遠ざかる



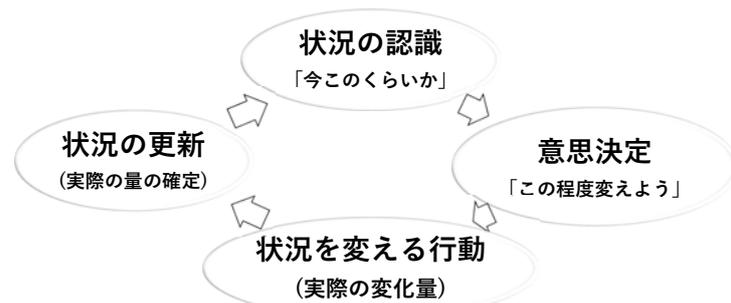
14

ループの直視は、内部の根本原因を見据え、建設的に取り組むことにつながる



15

フィードバックループは重要



Forrester (1971, section 4.2)参照

16

因果ループ図

- ▶モデルの要素間を「原因→結果」で図示
- ▶原因側が変化したとき、結果側が同じ方向に変化する矢印は「+」、そうでなければ「-」



17

フィードバックループ

▶矢印の循環

- 複数の「-」：正のフィードバックループ。要素は発散。
- 奇数の「-」：負のフィードバックループ。各要素は収束。



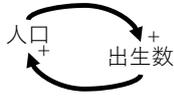
18

因果ループ図の利用

➤要素間関係の整理

➤あくまでも思考の補助

- シミュレーションのツールではない (Richardson(1981)参照)
- 「まじめにやっている証拠」にしがち? (Randers(1980)参照)
- Forrester (2013) やWarren (2014) : 使わない



19

因果ループ図の限界

✓正のループと負のループ

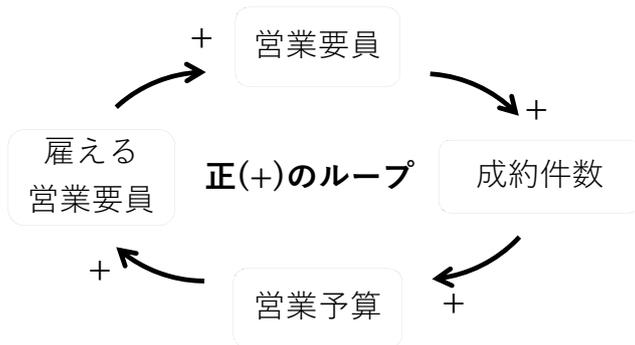
- ふるまいの特定：孤立した一つのループの場合のみ可能
- 現実のふるまいとの対応は「ない」と思ったほうが良い
 - △ふるまいからループ構造を当てはめる
 - ×ループ構造からふるまいを予測

✓ループには必ずストックが含まれる

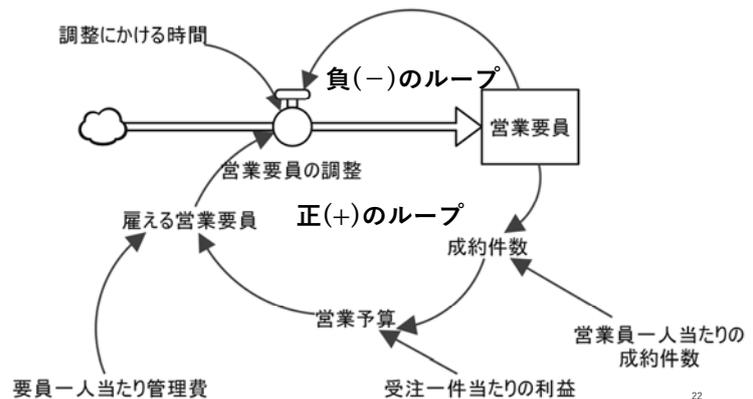
- 状況を見て介入策をとる ➡ 状況はストックです
- ストック・フローを描き分けられない因果ループ図には限界

20

他の限界：ループの書き漏らし



21



22

因果ループ図についての小括

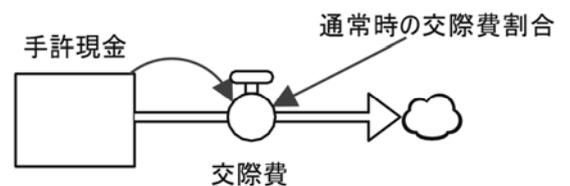
- △因果ループ図の偏重
- ◎ストック・フローの直視
- 因果ループ図では状況の見落としも多い
- ヒトは一度完成した「図」(認識を可視化したもの)を変更しがたいため、因果図での見落としは正確な状況把握に悪影響

(Richardson(1981)参照)

23

アウトフロー(流出するフロー)

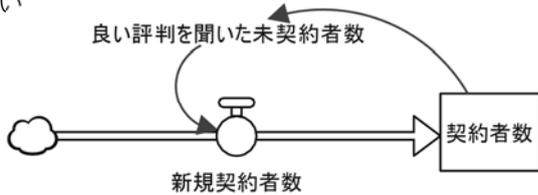
- ストックは、枯渇する(可能性がある)
 - Ex. ストックが減ったら使用を控えるのでは?



24

インフロー(流入するフロー)

- ストックは、子を生む (可能性がある)
Ex. クチコミの発生源とフォロワーは無関係ではない



25

取り組むのに適切な順序は？

1. 物理的な流れ
2. 情報の流れ
3. 情報の認識プロセスと認識された値
4. 認識された情報からくるプレッシャー
5. プレッシャーを受けたうえでの意思決定と行動



Richardson & Pugh III (1989, p.63) 参照 26

モデルとは

- 何かの目的のために、現実の一部を表現したもの
 - しばしば単純化して
 - 特徴を強調して
- 身の周りの例
 - 売上予測モデル、収穫量予測モデル、心理的反応モデル
 - プラモデル、ファッションモデル、地図・・・
- SDのモデルは定量的モデル
 - 「解釈の違い」を生む余地が少ない
 - 複雑な問題をすっきり扱える

Richardson & Pugh III (1989, pp. 2-3) 参照 27

使えるモデルの条件

- 現実の情報の使われ方や状態の変化をより正確に表現
 - 非線形な関係
 - 遅れを伴った反応や推移
- 普遍性？
 - あればあったらよいが・・・
 - 自然科学のモデルでも、制約はある
 - ニュートンの運動方程式は光速よりずっと遅い運動に限定
 - ヒトが中に含まれるモデルではおのずと限定的に
 - 「A社とB社では発言力のある部署が違う」
- 問題解決へのインサイトが得られることが重要

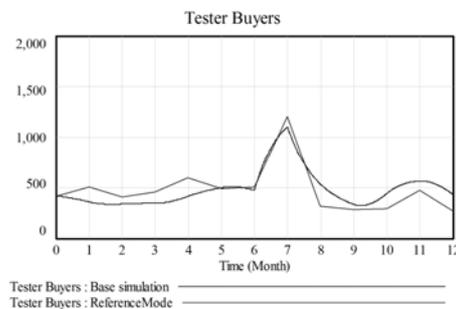
Richardson & Pugh III (1989, p.310) 参照

徹底検証 (validation/test)

- 実際に起きたことは再現できるか
- モデルにおかしなところがないか
 - Forrester & Senge (1980), Sterman (1984), Barlas (1989)
 - モデルの完璧さや正当性を証明するのではない
- ロバストであるべき
 - 分析している対象は、微細な変動から影響を受けないのでは？

29

例:インターネット通信販売：月別新規顧客



Takahashi & Tanaka, 2016

30

例: 日本のコメの在庫推移

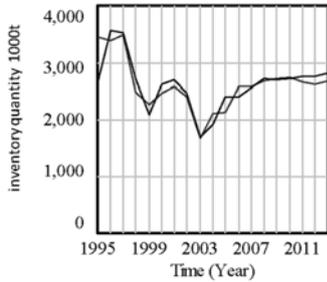


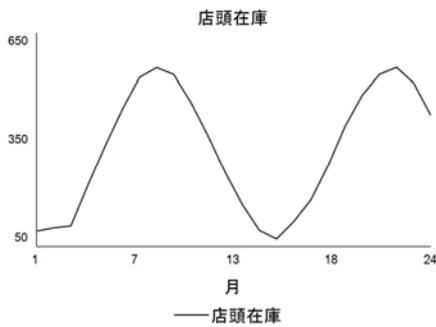
Figure 2 Baseline analysis Inventory quantity 1995-2013
Red simulation, Blue measured value
Yamamoto et al. (2013)

この後は、クライアントの持つ様々なシナリオを検証

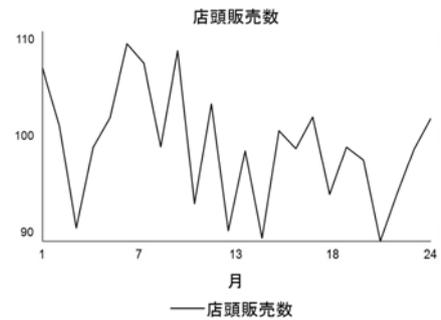
- インパクトはどの程度か
- 変化の起きる時期は？
- “Worse before better”はどの程度の規模・長さか
- 介入のポイントは力の及ぶ範囲なのか。そもそもその方針は受け入れられ得るか。

例: ある商品の月初在庫個数

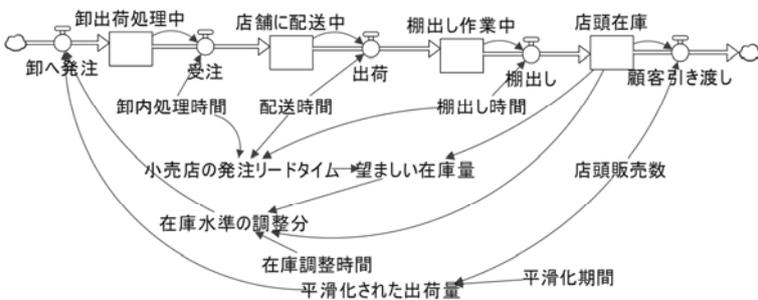
在庫は、かつて発注した分が入荷して増え、販売した分が減る。



発注量は在庫と平滑化された店頭販売数で決められていた。



モデル: 遅れ(平滑化)が随所にある



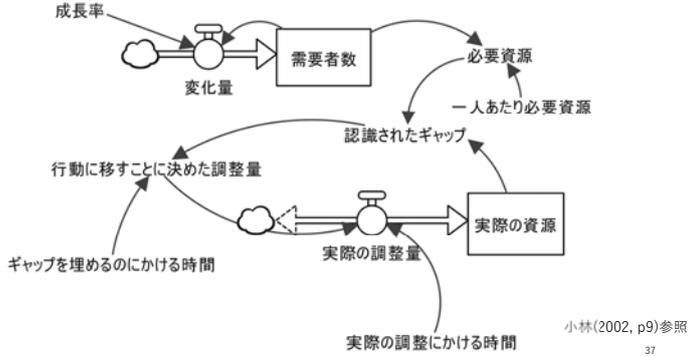
Richardson & Pugh III (1989, p.121)

遅れがもたらす不思議な動き

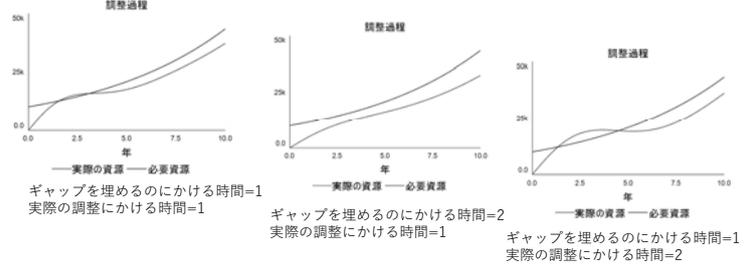
- 遅れ(平滑化)は元の情報の姿を大きくゆがめる
- この世がリアルである以上、遅れは常にある
- 平滑化はヒトの逃れられない性
- 認識した情報をもとにヒトは世
 - 無秩序(偶然)であっても秩序
 - 現実ではないものを見つめる「幽霊の正体見たり枯木逢花は古来色」
- このような「世の常」を「世の常」に向き合っていないモデルは、机上の空論かも知れない

SDは遅れや平滑化を容易に表現できる!

例：理想と現実のギャップを埋める

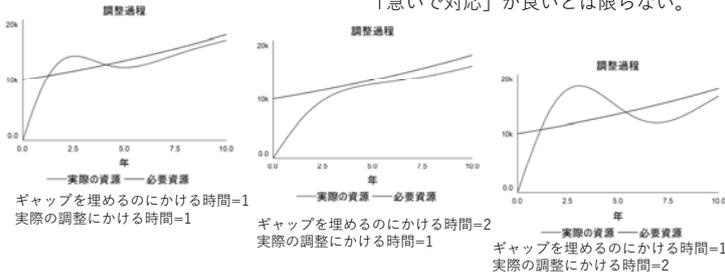


成長率が高い(0.1)場合



成長率が低い(0.01)場合

成長率によって、とるべき戦略が変わる。
「急いで対応」が良いとは限らない。



SDは問題解決の手法です

- 極端に単純化された箱庭の理想世界を見て、悟りを得ようとするものではありません
 - システムの構造を詳細に描写することを目指すものではありません
 - システムの外側を非難し、あきらめるのではなく、内側を観察して、改善する考え方です
 - SDを使うことで、問題解決にコミットしましょう！
- 40

うまくいかないときは、相談してみましょう

- 誰だって、壁にぶつかるときはあります。
 - 優しい人は、必ずいます。
 - 「物事の理解を深めること」と「車輪を再発明するようなこと」は、異なります。
- 41

大切なお願い

- ✓使ったら、(可能なら)どんどん発表しましょう。
 - ドキュメントも残しましょう。
 - ✓解決すべき問題は現場ごと・当事者ごとです。
 - 一般解を探すのに労力を傾ける前に冷静になりましょう。
 - ✓「問題を解決したがっている人」の思いをまずは受け入れてください。
 - SDにどんなに長けていても、問題の当事者よりも関連事実を深く知っているわけではありません。
- 42

Asia Pacific Region System Dynamics Conference 2017

- 2017年2月19日～22日
- National University of Singapore
- 10月13日申し込み締め切り
- <http://conference.systemdynamics.org/asia-pacific/>
- 問い合わせ先 rc4box3@nus.edu.sg

43

The 35th International Conference of the System Dynamics Society

- 60th Anniversary Celebration
- 2017年7月16日～20日
- Hyatt Regency Cambridge
- 2017年3月22日原稿締め切り
- <http://conference.systemdynamics.org/current/upload/2017CfP.pdf>
- 問い合わせ先 conference@systemdynamics.org

44

参考文献①

- Y. Barlas. (1989) "Multiple tests for validation of system dynamics type of simulation models." *European Journal of Operational Research*, 42 (1), pp. 59-87.
- J. W. Forrester. (1971) "Principles of systems," Wright-Allen Press.
- J. W. Forrester. (2013) Fireside Chat, Conference of the International System Dynamics Society, July 24th.
- J. W. Forrester and P. G. Senge. (1980) "Tests for building confidence in system dynamics models." *TIMS Study in the Management Science*, 14, pp. 209-228.
- J. Randers. (1980) "Guidelines for model conceptualization." In "Elements of the system dynamics method," ed. J. Randers, 1980 (originally from MIT Press)
- G. P. Richardson (1981) "Problems with Causal-Loop Diagrams." D-3312-2. (also in *System Dynamics Review*, 1982, 2(2), pp. 158-170.)
- G. P. Richardson & A. L. Pugh III. (1989) "Introduction to System Dynamics Modeling" Pegasus Communications (originally from MIT Press and Productivity Press)

45

参考文献②

- J. Sterman. (1982) "Appropriate summary statistics for evaluation the historical fit of system dynamics models." *DYNAMICA*, 10, pp. 51-66.
- Y. Takahashi & N. Tanaka. (2016) "Strategic Decision Support for Startup Company Using System Dynamics: an online startup company's case." *The Proceedings of The 34th International Conference of the System Dynamics Society*, July 2016
- K. Warren. (2014) "Agile SD: fast, effective, reliable." *The proceedings of International Conference of System Dynamics Society 2014*.
- S. Yamamoto, E. Yamaguchi, & Y. Takahashi (2013) "The Influence of Technology Innovation for Rice Agriculture in Japan." *Proceedings of the 6th ISPIIM Innovation Symposium, 2013*
- 小林秀徳 (2002) 「政策研究の動学的展開」 白桃書房

46

システム・ダイナミクス学会日本支部

<http://j-s-d.jp>

ご入会いただきますと、講演会情報や発表機会や学会の情報、また会誌への投稿ができます。

ぜひご検討ください。

賛助会員も受け付けております。

詳細は、上記URL・右のQRコードのWWWへ！

お問い合わせ先

office@j-s-d.jp (事務局)

member@j-s-d.jp (入会関連)



47

System Dynamics Society



<http://www.systemdynamics.org>

48