

# モデル化とシミュレーションを楽しく学ぶための ソフトウェア開発

中村州男<sup>†</sup> 江見圭司<sup>†</sup> 作花一志<sup>†</sup>

安価なシェアウェアで、かつ、モデル化とシミュレーションを楽しく学ぶためのソフトウェアを開発した。簡単な線形計画法を例にしてプレゼンテーションする。

## Software development to learn modeling and simulation easily with amusement

KUNIO NAKAMURA<sup>†</sup> KEIJI EMI<sup>†</sup>  
KAZUSHI SAKKA<sup>†</sup>

We have developed a cheap shareware to learn modeling and simulation easily with amusement. An example on simple linear programming is presented.

### 1. はじめに \*

これまで、システム・ダイナミクスは、理工学的でかつ難易度が高く、ソフトウェアについても理解するのが難しくかつ高価であることから、多くの方々に利用してもらうことは難しいものであった。また、システム・ダイナミクスの前段階となるシステムズ・シンキングについては、そのソフトの領域外であった。東洋大学 大学院国際地域学研究科 国際地域学部 池田誠教授は、もっと多くの方々に利用してもらえるように、日常的問題発見・解決・意思決定支援・プレゼンテーションが可能で、かつ、システムズ・シンキングとシステム・ダイナミクスの入門となる安価なソフトは作れないのか、また、このようなソフトがあれば多くの人々のためになると力説された[1]。これを受けて、考える力を育むツールとして筆者が独自に開発したものである。

### 2. 開発したソフトウェアの特徴

「システムズ・シンキングとシステム・ダイナミクスを殆ど一緒に行える道具（ツール）で、作成した因果ループ・モデルやシステム・ダイナミクスのシミュレーション・モデルを作成すると共に、ネットワーク上で知識として共有していく仕組み」を目標としている。そこで、Simulation Tool and Knowledge Networkの意から、開発したソフトウェアの名称をSimTakN(シムタクン)とした。

#### 2.1 安価なシェアウェアであること

シェアウェアと市販ソフトとの最も大きな違いは、バージョンアップ費用が不要な点である。これは、作者と利用者が試用期間を通じて出会い、利用者は将来の発展性を見越して一票を投じるが如く、ライセンスを購入する。利用者自ら意見や要望、ときには夢を作者に伝え、作者はこのなかから他の多くの利用者と共有できる良き考え(知恵)を具現化するためにバージョンアップを行う、知恵の共有(シェア)を目的としたソフトである。そして、パッケージ・広告・流通コストを掛けずに、ソフトウェアはインターネットからダウンロードして直ちに試用でき、マニュアルもインターネット上にオンラインヘルプのページを閲覧、サポートも極力オンラインヘルプとインターネット掲示板によるユーザー同士のコミュニケーションで解決することで、安価である。開発したシェアウェア SimTakN(シムタクン)は初期費用が安価で、かつ、バージョンアップ費用が無料のソフトウェアである。最終的には、WindowsでもLinuxでも動作するマルチプラットフォーム化とプログラムソースを公開するオープンソースウェア化を目指している。

#### 2.2 モデリングからシミュレーションへの連続性

既存のシステム・ダイナミクス・ソフトウェアは、数式化されたモデル作りを起点として、シミュレーションする。これに対して、SimTakN(シムタクン)では、メンタル・モデリング(頭のなかにある不完全な状態の数式化されていないイメージ)を思考の整理を促しながら書き表すところからサポートする。そして、その考えがまとまると、これを数式化して

\*<sup>†</sup> 京都情報大学院大学  
The Kyoto College of Graduate Studies of Informatics

モデルを作り、そのまま、シミュレーションすることができる。つまり、メンタル・モデリングからシステムズ・モデリング、シミュレーションの人間の思考過程の全般にわたるサポートを連続して行えるソフトウェアである[2]。

### 3. 簡単な線形計画法を使った具体例

#### 3.1 簡単な線形計画法－製造業石油問題を解く

##### 3.1.1 単純化した問題[3]

原料Aと原料B（原油?）を、装置Eを通して、製品C（ガソリン?）と製品D（重油?）を生産している企業の装置Eをフル稼働させた場合の利益を最大にする原料Aと原料Bの使用量と利益を計算する。なお、利益は、製品価格－原料価格－装置費用で求めるものとする。Aの原料単価は6、Bの原料単価は5、Cの製品単価は10、Dの製品単価は6、Eの装置単価は1、精製能力は200とする。また、原料Aの精製比率は製品C：製品D＝6：4、原料Bの精製比率は製品C：製品D＝3：7であるとする。

##### 3.1.2 メンタル・モデリング

この問題を解くに当たって、頭のなかにあるモデリングに必要な項目と構成内容、目的をSimTakN(シムタクン)を使って下記のように列挙する。項目と構成内容はひとつにして、原材料A量×原材料A単価・・・と列挙しても何ら差し支えない。目的は、利益最大時の利益と原材料A・原材料Bの使用量であるが、結果はグラフで表現されるので、グラフ上の利益金額最大点yとそのときの原材料Aの使用量x、原材料Bの使用量200-xを求めることが目的となる。

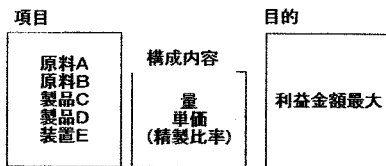


図1 メンタル・モデリング

##### 3.1.3 システムズ・シンキング

3.1.2で列挙した項目、構成内容、目的が3.1.1の問題を細大もらさず表現していることを確認した上で、最小項目と値や計算式を表現する。このとき、SimTakN(シムタクン)では、項目の箱に列挙した複数行の文字列をクリップボードにコピーして、「クリップボードから箱取込み」を行うと、各行ごとに箱を生成するので、メンタル・モデリングからシステムズ・シンキングへの変換を連続して行うことができ

る。

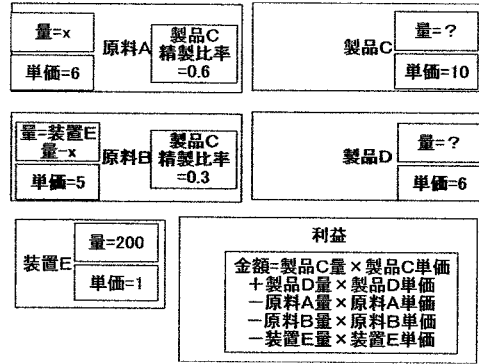


図2 システムズ・シンキング

##### 3.1.4 システムズ・モデリング

3.1.3で表現した最小項目単位の箱と数値が3.1.1の問題を細大もらさず表現していることを確認した上で、箱と箱を片方向矢印線で結んでストーリーを作る。この作業が一般にいうモデル化である。モデル化する際に片方向矢印線が複雑にならないよう中間的な箱を作る。この問題では、量と金額の計算をするストーリーの組合せとなる。

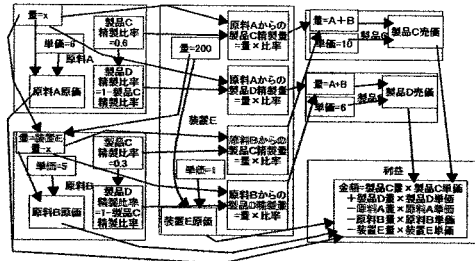


図3 システムズ・モデリング

##### 3.1.5 シミュレーション・モデリング

3.1.4で作成したモデルは単に描画ツールで作成したのと同じ状態である。シミュレーションにするためには、それぞれの箱をシミュレーションに必要な状態の箱に変換する必要がある。SimTakN(シムタクン)では、この作業も簡単にできるようになっている。今回は、定数箱と変化箱の形にシステムズ・モデリングから変換し、文字として表示している数値や計算式を実際に計算できる形に表現すると次のようになる。つまり、最初のメンタル・モデリングからシミュレーションまで連続して活用することができる。

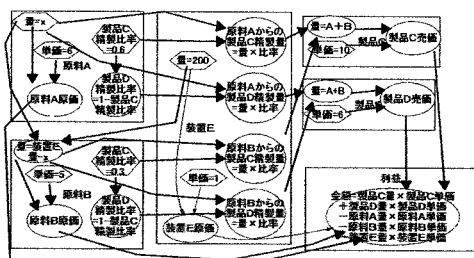


図4 シミュレーション・モデリング

このシミュレーションの結果、原料Aが200、原料Bが0のとき、最大利益280となる。

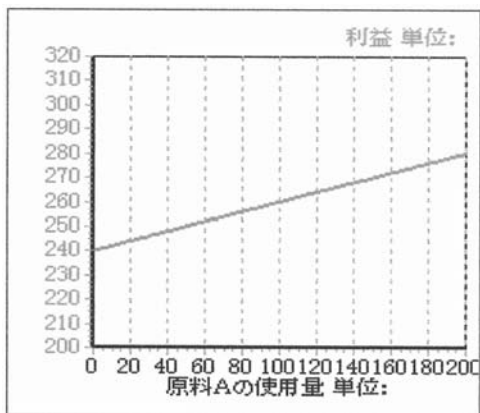


図5 原料Aの使用量と利益のグラフ

### 3.2 普通の線形計画法－製造業石油問題

#### 3.2.1 制約条件等を付加した問題

3.1.1の問題に二次精製装置Fと製品Cの最大販売可能数の制約条件が追加された問題を考える。二次精製装置Fは、精製装置Eで製品Dとなったものを製品Cに精製する装置で、装置単価は3、能力は60である。製品Cの最大販売可能数は150とする。このように多少現実的な問題として解くことにする。

#### 3.2.2 メンタル・モデリング

3.1.2に装置Fと製品C制約条件を追加する。図は省略する。

#### 3.2.3 システムズ・シンキング

3.1.3に装置Fと製品C制約条件数値を追加する。図は省略する。

#### 3.2.4 システムズ・モデリング

3.1.4に装置Fと製品Cの片方向矢印と計算式を追加する。図は省略する。

### 3.2.5 シミュレーション・モデリング

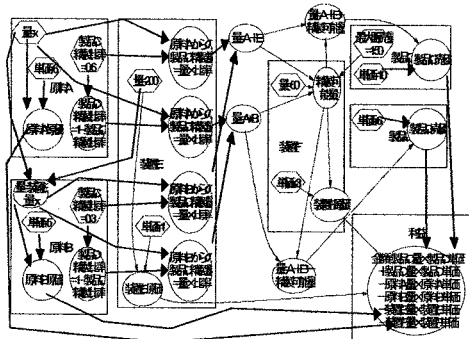


図6 シミュレーション・モデリング

以下のグラフのように最大利益が変わる。原材料Aが100、原材料Bが100のとき、最大利益320となる。つまり、二次精製装置Fの導入は、製品の最大販売可能量の制限下で利益増大をもたらすことになる。

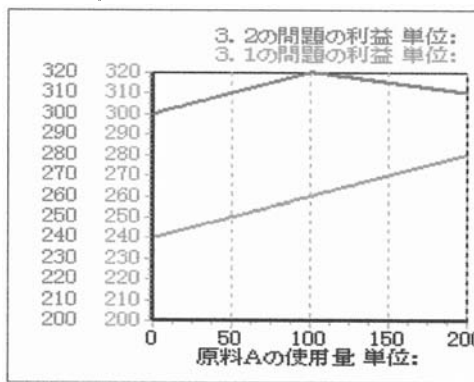


図7 原料Aの使用量と利益の比較グラフ  
(上が3.2の問題、下が3.1の問題)

実際の精製工程には、200近くの精製装置や制約条件がある。なお、Excelのソルバ機能を使うこともできるが、こちらの方は、問題の数式化ができないと解くことが容易にわかる。

A	B	P	Q	X	Y	目的関数											
2	変化させるセル→					0.4*Q3+0.4*D3+E3+H3+I3+J3+K3+L3+M3+N3+O3											
3	目的関数の係数→	-6	-5	3	10	6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	A+Bの条件	1	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	製品Dの条件	0.6	0.3	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	製品Yの条件	0.4	0.7	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8				A	0	≤	C3										999
9				B	0	≤	D3										999
10				下 P	0	≤	E3										200
11				限 Q	0	≤	F3										60
12				確 X	0	≤	G3										150
13				Y	0	≤	H3										999

図8 Excel ソルバー機能

この点、SimTaKN(シムタクン)では、シミュレーション・モデリングを簡単に変更しながら複雑な数式を

考えることなく問題をグラフ化して容易に答えを導き出すことができる。

### 3.3 複雑な線形計画法—製造業石油問題

#### 3.3.1 将来の利益を考える設備投資問題

3.2.1 の問題をさらに将来の利益を考える設備投資問題としてみよう。装置Fの能力の変化で利益がどのように変化するかを考える。ここでは、能力を60、75、90としたときの変化を三次元（3D）グラフで考える。

#### 3.3.2 3Dシミュレーション・モデリング

3.1.2 に装置Fの能力の変化条件を追加する。シミュレーション・モデリングは、装置Fの量=60をZ軸名：装置Fの値を60、75、90の3値で計算するために2箇所変更した。

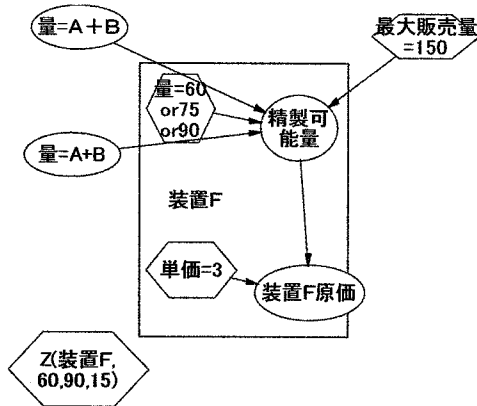


図9 モデルの変更箇所

その結果を二次元グラフで表現すると下記の通りとなる。装置Fの能力を90とした場合に、原料Bだけ200を利用したときの利益が330となり、最大となる。

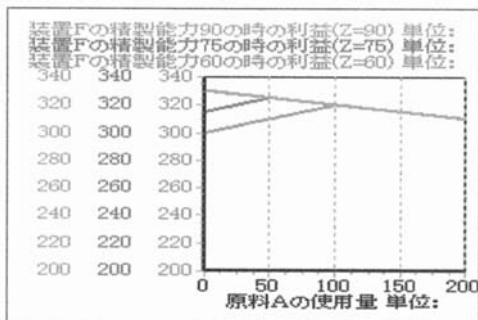


図10 装置Fの精製能力の違いによる原料Aの使用量と利益の比較グラフ (上から装置Fの精製能力90,75,60)

この二次元グラフを3Dグラフで表現すると下記の通りとなる。なお、回転表示されていて、角度を変えたり停止が可能となっている。

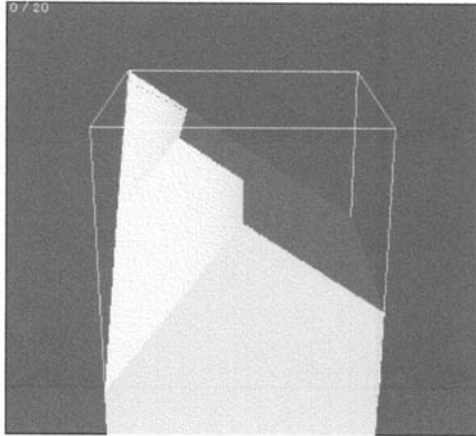


図11 原料Aと装置Fと利益の3Dグラフ

また、下記のように等高線表示も可能である。横がX軸で今回は原料Aの使用量0~200を表している。縦はZ軸で装置Fの能力60~90を表している。マウスを移動すれば、右端の高度計に該当するところでY軸の利益300~330を表している。

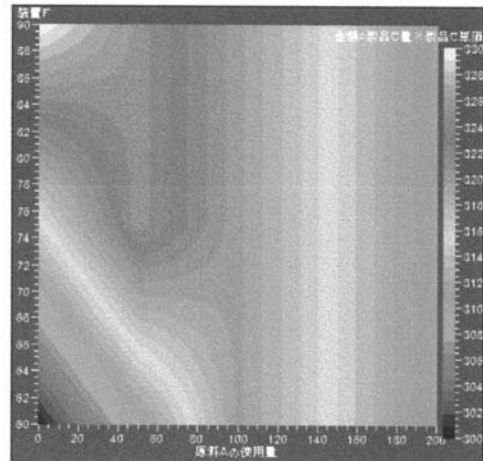


図12 原料Aと装置Fと利益の等高線表示

## 4. 期待される教育効果

3. 1と3. 2の線形計画法—製造業石油問題はExcelのソルバー機能で解くことができる。しかし、日本人の中学生や小学生は問題を数式化する過程をうまく処理できないという衝撃的な事実がPISA2003やTIMSS2003の試験結果で明らかになっている[4]。問題

の数式化ができなければ、Excel のソルバー機能を理解できたとしても実際に問題を解くことができない。一方、SimTakN(シムタクン)では問題をメンタル・モデリング、システムズ・シンキング、システムズ・モデリング、シミュレーションと連続的にモデル化とシミュレーションして解くことができる。しかも、結果のXYグラフから「なぜ、原材料Aが100の時に最大利益320なのか」を考えることができる。一からグラフを書いて解くことができなくても、グラフを見て考えることは容易なのである。また、「精製装置の能力が変わったらどうなるか」についても、精製装置の能力をZ軸とした立体(3D)グラフを見て新たに出現した稜線により深く考えることもできる。このように問題の数式化を容易にし、システムの思考を楽しく学び、問題を解くことができると考える[5]。

## 5. まとめ

モデル化とシミュレーションを安価なシェアウェアで、かつ、楽しく学ぶためのソフトウェアを開発し、ようやく実践できるバージョンになってきた。この開発したソフトウェア SimTakN(シムタクン)と本論文で使用したモデルのダウンロードサイトを参照いただきたい[6]。今後は、大学教育等の中で実際に試してみて、その教育効果を測定していきたい。皆様からのご報をお願いします。

**謝辞** 本ソフトウェアの開発を機会を与えていただき、また、未完成の状態から教育にすぐにお使い頂き、多大なご協力を頂いている東洋大学 大学院国際地域学研究所 国際地域学部 池田誠教授に感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) SimTakN(シムタクン)オンラインヘルプ  
<http://hp.vector.co.jp/authors/VA017379/Help/SimTakN.html>
- 2) 藤井敏信・安相景・高橋一男・小浪博英・金子彰・坂元浩一・長濱元・池田誠著 東洋大学国際共生社会研究センター編、「環境共生社会学」,朝倉書店(2004)
- 3) 東洋大学木暮仁講師のWeb教材一覧>オペレーションズ・リサーチ>線形計画法(LP)の線形計画法の効果  
<http://www.kogures.com/hitoshi/webtext/lp-kouka/index.html>
- 4) 江見圭司・南野公彦発表,"グラフ電卓を用いた情報・数学・科学の統合的教育への提案",情報処理学会コン

---

ピュータと教育研究会第89回研究会(2007)pp.1-4  
5) 中村州男発表,"オペレーションズ・リサーチ学習用SDモデル",システム・ダイナミクス学会地方研究会&経営SDワークショップ(2006.11.29)  
6) ダウンロードサイトURLは次の通り。  
・開発したソフトウェア SimTakN(シムタクン)  
<http://park1.wakwak.com/~johoka/download/SimTakNscutp.exe>  
・「簡単な線形計画法」のモデル化データ  
<http://park1.wakwak.com/~johoka/download/20070707.flh>