

# マルチエージェントによる集団生産性モデルの構築

富山研究室 99601111 朱 霊宝

## 1. 研究の背景と目的

20世紀初頭から、集団生産性について、テイラやフェヨルなど多くの研究者によって組織の構造から、人的や物的及び技術的な生産要素の管理を中心とした研究が蓄積された。生産性の概念はこれまで主に物的生産性に関する技術的概念と社会的、経済的概念に2種にも分けられる。前者は生産過程において一種の効率性や能率性や技術的合理性の尺度として使われ、単純化された基準に基づいて「極大化」を志向するものである；後者は人間社会の福祉増進のために有限な資源の最適かつ公正的な配分という課題が達成される度合いを示し、「最適化」を志向するものである。さらに、現代生産性として、経営概念を加え、経済活動に関係するすべての人への公正な成果配分を前提として、多くの人々の追求を満足させ、国民福祉、人間性尊重を根底としてのより高いレベルの概念で、「満足化」が志向するものである。これで、生産性という概念は経済、社会、環境などの多分野にわたる複雑であり、人間行動や人間認識などの社会意識にかかわり、実践活動に検証しにくい、地域ごと、社会発展によって変化している概念であるために、今まで「トップダウン」方式の研究方法で解決できない課題である。これを補完すべく、複雑系学問からアプローチする方法がある。これはマルチエージェントを用いて、人工社会モデルを構築し、シミュレーションを観察することで、現実の動きの本質を取り出してくるという「ボトムアップ」方式の研究方法である

生産性は尺度として経済や産業の発展、価値の創造を適切に測定するために、実践的生産活動において各種の指標とどんなようのかかわりが形成されているか、また、各種の指標の間のプラスはどのように調和されているか、といった生産性の向上ためのダイナミクスを明らかにするうえで、集団現代生産性モデルを構築することは本研究の目的である。

## 2. モデルの定義

### 2-1. 概要：

生産性という概念は人類の福祉と幸福の実現するために、進歩の改善、経済生活への適応、新しい技術と方法の応用、人間の進歩への信念などへ不断にめざす精神状態であるので、経済・経営の分野だけではなく、自然、人文、社会など広い範囲にわたってかかわり、完全に記述するのは不可能である。ところで、**生産性 = 産出 (Output) / 投入 (Input)** という基本式に基づき、目的によっていろいろの測定尺度がありうる。今の段階では生産性の個別要素としての(物的)労働生産性を対象に、マルチエージェントベースによつての基本モデルを構築し、MAS というシミュレーションシステムを用いて、シミュレーションを行う。これによって、モデルの操作や局所ルールや初期条件などを検証し、見直していくうえで、実践的生産活動に労働生産性と他の生産要素及び生産指標と総合し、総合的な生産性モデルの構築を試みる。労働生産性は生産技術的有効性を測るもので、式で示せば、

$$\text{労働生産性係数} = \text{生産量} / \text{生産者数} \times \text{労働時間数}$$

### 2-2. モデルの構成

・**二次元空間 (SPACE) :**  $M \times N (*I)$  格子状の環境に資源 A と資源 B、生産エージェント、及びそれらの属性を説明する変数で構成される。

**資源 (Resource) :** 二次元空間に蓄積され、生産エージェントの生活と生産活動に提供された物質である。その存在形式と蓄積メカニズムは以下のルールのように自ら循環している。

**資源の初期存在ルール R1 :** 格子状の「二次元空間」の生態環境に、長い年を経て最大容量までに資源 A と資源 B が蓄積されている、それらを見つけたある生産集団にとって、未開発する資

源であり、それを「初期状態」という。この初期状態は**資源 A と資源 B とも最大容量 (\*2)** 状態である。

**環境資源再生ルール R2:** 生産エージェント集団が二次元空間から資源 A , B を採掘されても、それぞれの資源エージェントが初期状態までに**再生率 G (\*3)** で再生できる。

**生産エージェント (Produce Agent):** **N (\*4)** の成員からなった生産集団は生産エージェントとして、この二次元空間環境にばら撒く。

個々の生産エージェントは代謝率、資源の獲得能力及び生産力などの三つの遺伝属性を持つ。

**ア. 代謝率 (metabolic rate):** 生産エージェントが自分の生命を維持し、生産活動するのに、毎期間燃焼しなければならない資源を示し、また、代謝率は遺伝的なので、個体群によって異なる。低燃費と高燃費のグループがそれぞれの**代謝率 (\*5)** が持っている。また、この集団には低燃費のグループが一定の割合 **W (\*6)** が占める。

**イ. 資源の獲得能力:** 自分の周りを見回し、代謝、**C** の生産に**最有利の空き地**を探し、そこへ移動し、**資源 A と資源 B** を取る能力。

**ウ. 生産能力 (P production):** 環境から採掘した資源を使い、 **$m A + n B = C$**  の**方程式 (\*7)** に随って、最大量の **C** を生産する能力。

### 資源獲得・生産ルール S 1 :

1. 格子にいる生産エージェントは自分のニーズに応じてその格子にある資源 A , B を採掘し、代謝する。その場の資源 A と B のいずれかが代謝率に満たない場合、生産エージェントが死亡し、その姿が環境から消してしまう。
2. 格子にあり、代謝した後残った資源 ( A , B ) を使って、最大量の **C** を生産する。
3. 生産した **C** を集団の財産として、**W** に保存する。
4. 生産格子近傍の 8 つマス目の中で、最もほかの生産エージェントがいない、かつ **C** を生産できる格子探し、見つかったら、そこへ移動する。
5. 1 ステップに戻る

## 3 . モデルの実装 ( ABS における設定変数 )

### 3 - 1 . シミュレータ

本研究は計画研究所から借りてきた MAS ( Multi Agent Simulator ) を用いて、モデルの記述を行う。

表 3 - 1 のようなモデル変数と対応する変数、変数入力情報、シミュレーション出力情報をエージェントプログラムに導入した。

### 3 - 2 . モデル変数と MAS の変数の対応表 :

生産要素	実装モデルに対応する変数及び入力情報の範囲	集団属性
基本モデルにある変数 二次元空間 $M \times N$	$50 \times 50$ の空間	出力情報 共同財産
<b>資源 A と資源 B とも最大容量</b>	$x = < 13, \text{ or } x > 37$ の時 資源 A の最大容量 = 資源基礎容量 * $X/13 + 10$ 資源 B の最大容量 = 資源基礎容量 * $X/13 + 15$ $13 < x = < 37$ の時 資源 A の最大容量 = 資源基礎容量 + 10 資源 B の最大容量 = 資源基礎容量 + 15 <b>資源基礎容量 = 0 ~ 10</b>	生産 AGENT の死亡率 低燃費生産 AGENT の死亡率 高燃費生産 AGENT の死亡率
資源再生率 <b>G</b>	<b>A , B 資源再生率 G = 5% ~ 100%</b>	
生産エージェント数 <b>N</b>	<b>生産 AGENT の投入数 N = 100 ~ 700</b>	平均寿命
低燃費と高燃費生産エージェントの代謝率	低燃費生産 AGENT の代謝率 = 3 高燃費生産 AGENT の代謝率 = 7	労働生産性係数
低燃費エージェントが集団における割合 <b>W</b>	<b>低燃費 AGENT の占有率 P = 0 ~ 1</b>	
生産エージェントの生産能力を代表する生産係数 $m \cdot n$	$m : n = 1 : 2$	

3 - 3 . 実装した MAS は下の図 1 のようである。

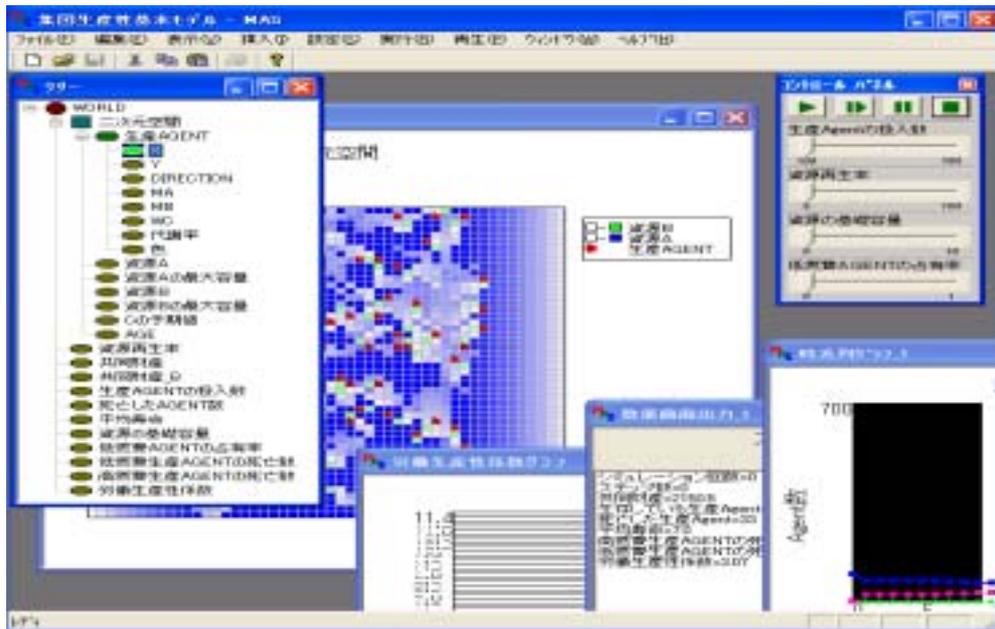


図 1

4 . シミュレーションの実行

4 - 1 . シミュレーションの方法と範囲

低燃費生産 AGENT の占有率  $P = 10\%$ 、 $50\%$ 、 $90\%$ 、資源基礎容量  $K = 0, 5, 10$ 、資源再生率  $G = 5\%$ 、 $50\%$ 、 $100\%$ 、生産 AGNET の投入数  $N = 100, 300, 600$  といった変数からひとつずつの値を取り出し、生産集団の生産要素として、一回のシミュレーションを行う。可能な条件パターンは表 4-1 の通りである。

表 4-1 シミュレーション条件パターン表

番号	低燃費生産 AGNET の比率 P	資源初期容量 K	資源再生率 G	生産 AGENT の投入数 N	番号	低燃費生産 AGNET の比率 P	資源初期容量 K	資源再生率 G	生産 AGENT の投入数 N	番号	低燃費生産 AGNET の比率 P	資源初期容量 K	資源再生率 G	生産 AGENT の投入数 N
1	P=10%	K=0	G=5%	N=100	28	P=50%	K=0	G=5%	N=100	55	P=90%	K=0	G=5%	N=100
2	P=10%	K=0	G=5%	N=300	29	P=50%	K=0	G=5%	N=300	56	P=90%	K=0	G=5%	N=300
3	P=10%	K=0	G=5%	N=600	30	P=50%	K=0	G=5%	N=600	57	P=90%	K=0	G=5%	N=600
4	P=10%	K=0	G=50%	N=100	31	P=50%	K=0	G=50%	N=100	58	P=90%	K=0	G=50%	N=100
5	P=10%	K=0	G=50%	N=300	32	P=50%	K=0	G=50%	N=300	59	P=90%	K=0	G=50%	N=300
6	P=10%	K=0	G=50%	N=600	33	P=50%	K=0	G=50%	N=600	60	P=90%	K=0	G=50%	N=600
7	P=10%	K=0	G=100%	N=100	34	P=50%	K=0	G=100%	N=100	61	P=90%	K=0	G=100%	N=100
8	P=10%	K=0	G=100%	N=300	35	P=50%	K=0	G=100%	N=300	62	P=90%	K=0	G=100%	N=300

9	P=10%	K=0	G=100%	N=600	36	P=50%	K=0	G=100%	N=600	63	P=90%	K=0	G=100%	N=600
10	P=10%	K=5	G=5%	N=100	37	P=50%	K=5	G=5%	N=100	64	P=90%	K=5	G=5%	N=100
11	P=10%	K=5	G=5%	N=300	38	P=50%	K=5	G=5%	N=300	65	P=90%	K=5	G=5%	N=300
12	P=10%	K=5	G=5%	N=600	39	P=50%	K=5	G=5%	N=600	66	P=90%	K=5	G=5%	N=600
13	P=10%	K=5	G=50%	N=100	40	P=50%	K=5	G=50%	N=100	67	P=90%	K=5	G=50%	N=100
14	P=10%	K=5	G=50%	N=300	41	P=50%	K=5	G=50%	N=300	68	P=90%	K=5	G=50%	N=300
15	P=10%	K=5	G=50%	N=600	42	P=50%	K=5	G=50%	N=600	69	P=90%	K=5	G=50%	N=600
16	P=10%	K=5	G=100%	N=100	43	P=50%	K=5	G=100%	N=100	70	P=90%	K=5	G=100%	N=100
17	P=10%	K=5	G=100%	N=300	44	P=50%	K=5	G=100%	N=300	71	P=90%	K=5	G=100%	N=300
18	P=10%	K=5	G=100%	N=600	45	P=50%	K=5	G=100%	N=600	72	P=90%	K=5	G=100%	N=600
19	P=10%	K=10	G=5%	N=100	46	P=50%	K=10	G=5%	N=100	73	P=90%	K=10	G=5%	N=100
20	P=10%	K=10	G=5%	N=300	47	P=50%	K=10	G=5%	N=300	74	P=90%	K=10	G=5%	N=300
21	P=10%	K=10	G=5%	N=600	48	P=50%	K=10	G=5%	N=600	75	P=90%	K=10	G=5%	N=600
22	P=10%	K=10	G=50%	N=100	49	P=50%	K=10	G=50%	N=100	76	P=90%	K=10	G=50%	N=100
23	P=10%	K=10	G=50%	N=300	50	P=50%	K=10	G=50%	N=300	77	P=90%	K=10	G=50%	N=300
24	P=10%	K=10	G=50%	N=600	51	P=50%	K=10	G=50%	N=600	78	P=90%	K=10	G=50%	N=600
25	P=10%	K=10	G=100%	N=100	52	P=50%	K=10	G=100%	N=100	79	P=90%	K=10	G=100%	N=100
26	P=10%	K=10	G=100%	N=300	53	P=50%	K=10	G=100%	N=300	80	P=90%	K=10	G=100%	N=300
27	P=10%	K=10	G=100%	N=600	54	P=50%	K=10	G=100%	N=600	81	P=90%	K=10	G=100%	N=600

**シミュレーション終了条件：**全部の生産 AGENT が死亡する場合または生産ステップが 200 ステップに達した場合。このシミュレーションはエージェントの初期配置と各ステップにおけるエージェントの行動順序はランダムに与えるので、再現不可能である。しかし、変数の変化が規律的であるため、シミュレーション結果の全体の変動傾向を見ることは有効である。

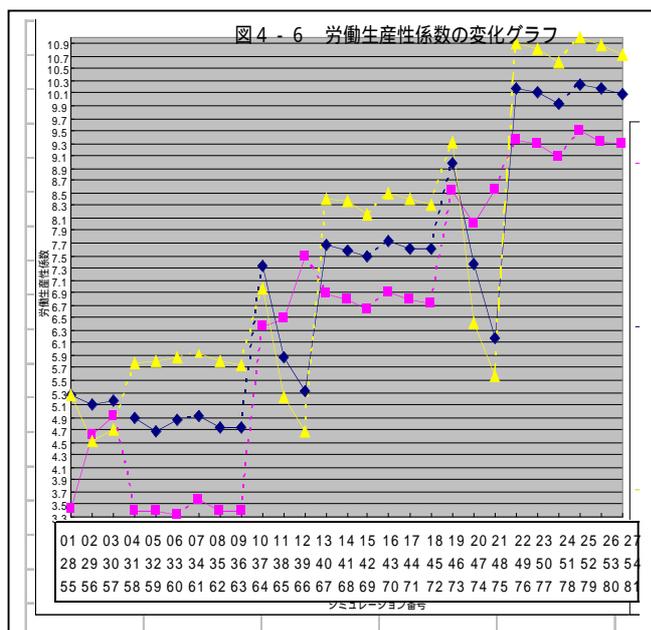
## 4-2 . シミュレーション結果と分析

以上のシミュレーション条件でシミュレーションを行い、共同財産、生産 AGENT の死亡率、低燃費生産 AGENT の死亡率、高燃費生産 AGENT の死亡率、平均寿命、労働生産性などの集団の社会属性ごとに、出力情報データをグラフ化し、分析をおこなう。共同財産、生産 AGENT の死亡率、低燃費生産 AGENT の死亡率、高燃費生産 AGENT の死亡率、平均寿命の変化グラフの分析によると資源基礎容量と再生率と低燃費生産 AGENT の占有率が高いほど、エージェント集団の死亡率も低い、平均寿命がたかい。生産 AGENT 投入数が多いほど、共同財産が多く蓄積去れ、死亡率が高い、平均寿命が低いという社会変化は最大原理に従う一方、生産活動が続ける結果、生存に有利な AGENT は低い代謝率を持つ、平均寿命は高い、共同財産が多く生産されたという生態界にも人間社会にもあり、競争、適者生存、極限の現象も起こっていると確認できた。

それでは、基本モデルのような生産集団であれば、どのように生産要素条件を変えれば生産性向上が実現できるか、分析の方法の代表例として示しながら労働生産性係数の変化から考察していく。

**例示：労働生産性係数の変化傾向：**図 4 - 6 より、生産要素による労働生産性の変化傾向は表 4-2 で示しているように、生産要素の増加につれて、労働生産性が増加するだけでなく、減少する場合もある。これはこのシミュレーションの興味深いところである。このような結果を意味づけると以下の結果がわかる。

1.環境条件が変えられない場合には、生産集団が労働生産性を高める方法は2つある。



1) 働者数の調節。

・高燃費労働者の比率が高い集団は、資源基礎容量が少ない環境に生産活動を行う場合には労働者数の増員である。しかし、資源の基礎容量が多い環境には労働者の減員であるが、効果が小さい。

・低燃費労働者の比率が高い集団は、資源の基礎容量が少ない環境に生産活動を行う場合には労働者の減員である。資源の基礎容量が多い場合にも労働者の減員であるが、効果が小さい。

表4-2

生産要素の変化	労働生産性の変化傾向	
	増加	減少
資源基礎容量K	ほかの場合	$P < 50\%$ , $G=5\%$ , $K=0$ の場合
生産AGENTの投入数N	$P=10\%$ , $K=0$ の場合	ほかの場合
資源再生率G	全部	
低燃費生産AGENTの占有率P	$K \geq 5$	$K < 5$

2) 集団の構成の調節。(ここでは集団は低燃費労働者と高燃費労働者から構成される)

資源基礎容量 K が多い環境に集団生産性を高める方法は集団に低燃費生産 AGENT の占有率を高くすることであるが。資源基礎容量が少ない環境に集団生産性を高める方法は、高燃費生産 AGENT の占有率を高くすることである。

すなわち、資源の基礎容量が少ない環境に生産活動を行う場合には、一つの方法は高燃費生産 AGENT の占有率を高くすることである。もう一つは高燃費労働者の比率が高い集団にとっては労働者数を多く雇用することであるが、低燃費労働者の比率が高い集団にとっては、労働者のリストラである。

資源の基礎容量が多い環境には、一つの方法は労働者のリストラであるが、効果が小さい。もう一つの方法は低燃費生産 AGENT の占有率を高くすることである。

2. 技術革新によって、環境条件が変えられる場合には、環境条件の改善によって生産集団が労働生産性を高める方法は2 表4-2

資源再生率を高く調節する。

高燃費労働者の比率が高い集団は、いくつかの環境を選ぶことが可能で、どこでも資源再生率が低い場合には、資源基礎容量が低い環境においては労働生産性が高い、しかし、どこでも資源再生率が高い場合には、資源基礎容量が高い環境においては労働生産性が高い。

すなわち、資源再生率が変わらない場合に、高燃費労働者の比率が高い集団は低再生率かつ低資源基礎容量の環境、または高再生率かつ高資源基礎容量の環境を選ぶならば、高い労働生産性が実現できる、

低燃費労働者の比率が高い集団は、資源再生率の高低にもかかわらず、資源基礎容量が高い環境においては労働生産性が高い。

3. 集団と環境条件が同時改善する時、集団労働生産性を高める方法は、

高い資源再生率環境を選ぶか、技術によって環境の資源再生率を高く改善する。

高燃費労働者の比率が高い集団は高燃費労働者の比率が高い集団は低再生率かつ低資源基礎容量の環境、または高再生率かつ高資源基礎容量の環境を選ぶ。

低燃費労働者の比率が高い集団は、資源基礎容量が高い環境を選ぶ。

資源の基礎容量が少ない環境に生産活動を行う場合には、一つの方法は高燃費生産 AGENT の占有率を高くすることである。もう一つは高燃費労働者の比率が高い集団にとっては労働者数を多く雇用することであるが、低燃費労働者の比率が高い集団にとっては、労働者のリストラである。

資源の基礎容量が多い環境には、一つの方法は労働者のリストラであるが、効果が小さい。もう一つの方法は低燃費生産 AGENT の占有率を高くすることである。

## 5. 終わり

基本モデルのシミュレーションはエージェント間に直接の作用を用いていない社会でのダイナミクスの観測を行った。ここでは、エージェントに資源の採掘、代謝、生産、死亡などの生存しているために最小限の属性を与え、自分の力で資源を探し、生命の維持、生産活動に最大の能力を尽くすという環境であった。エージェントの投入数や低燃費生産エージェントの占有率といった集団構成要素と資源基礎容量や資源再生率といった環境資源要素の項目ごとに集団の労働生産性を含める社会変化関係を観察した。多くの場合には最大原理に従うが、生態界にも人間社会にもあり、競争、適者生存、極限の現象も起こっていると確認できた。さらに、どうやって集団労働生産性を高めるかについて、考察したが、本モデルにおいての集団が労働生産性の単一の指標を追及するとしての結果であった。他の社会指標を高め、経済的・社会的生産性および現代生産性の概念としての生産性の考察は行っていない。今後の課題としては労働者だけでなく、原材料、設備、エネルギーなどの生産要素を取り入れ、総合に考察するとともに、情報という特殊の生産要素をモデルに導入する。また、経済・社会的生産性や現代の生産性を考察するには、生産要素だけでなく、人間性の尊重、福祉の増進、環境の保全などの社会要素を取り入れ、合理性や人間性の総合的な生産性モデルを構築必要である。

また、今回の研究を踏まえて、エージェント間にコミュニケーションの行動ルールを取り入れて、生産性を高めるダイナミクスを観測し、実社会での動向の本質を探ることなどもこれからの課題である。

## 参考文献、資料

1. Epstein, Joshua M. and Robert Axtell. 1996. Growing Artificial Societies. Brookings Institution Press, Washington, D.C. (「人工社会 - 複雑系とマルチエージェント・シミュレーション」 服部正太・木村香代子訳、構造計画研究所、1999)
2. 木暮 至、2002、現代経営管理の新展開、同文館出版
3. 品川健、2001、エージェント間相互作用による意見形成モデルの構築、群馬大学大学院社会情報研究科 修士論文