サプライチェーン環境下におけるバーチャルエンタプライズ型
ビジネスモデルの特性評価*貝原俊也^{*1}, 藤井進^{*2}Business Model Evaluation in VE under Supply Chain
Environment—Multi-Agent Model Based AnalysisToshiya KAIHARA^{*3} and Susumu FUJII^{*3} Graduate School of Science and Technology, Kobe University,
1-1 Rokkodai, Nada-ku, Kobe-shi, Hyogo, 657-8501 Japan

Virtual Enterprise (VE) is a temporary alliance of enterprises that come together in order to better respond to cope with demand of customers. VE includes many kinds of business models in term of supply chain, such as vertical structure, horizontal structure and so on. In this study, we focus on the negotiation process in VE, and try to apply multi-agent paradigm with marketing science and game theoretic approach as its decision making mechanism in order to analyse the characteristics of several business models. We propose VE simulation models to analyse the forming dynamism of VE amongst several potential members in the negotiation domain, and finally clarify the performance of VE based business models.

Key Words: Virtual Enterprise, Business Model, Supply Chain Management, Multi-Agent, Game Theory, Marketing Science

1. はじめに

顧客ニーズの変化への迅速な対応を実現する上で、製品のライフサイクル全体を対象に、そこに含まれる全ての企業経営についての製品スループットに着目し効率的運用を実現する手法として、サプライチェーンマネジメント(以降、SCM)が脚光を浴びている⁽¹⁾。さらに現在では、企業のコア・コンピタンス経営指向によりサプライチェーンは系列や親子会社といった枠を越え、異なる複数の企業で構築されるケースが増えている。またITの発達により業務提携が世界的規模に拡大し、バーチャルエンタプライズ(以降、VE)と呼ばれる新しい企業形態が現れている⁽²⁾。

一般にVEには、様々なタイプのビジネスモデルが存在する。そして企業同士の連携形態に着目した場合、大きく、i) 垂直統合型、ii) 水平分業型、iii) ツリー型、などに分類することができる⁽³⁾。そしてここ数年のIT技術の進展と生産のグローバル化により、徐々に水平分業型のビジネスモデルが増えてきている。こういった状況下においては、効率的サプライチェーン

を実現するためのVE提携戦略の提案、および提携戦略とビジネスモデルとの関連性の明確化が大変重要な課題となる。従来より我々はVEを対象とした企業間交渉に基づく提携方法を提案し、シミュレーションによりその特性解析を行ってきた^(4, 5)。しかしこれらの取組みでは、基礎研究という位置付け上、比較的単純な一種のビジネスモデルを対象に、そのビジネスモデルに限定的な企業取引の意思決定戦略の提案を行っており、複数種類のビジネスモデルを想定したより高度な意思決定機構に対する取り組みが課題であった。

そこで本研究では、サプライチェーン環境下におけるVEに関してまずは各企業をエージェントとして捉え、その提携戦略として、マーケティングサイエンスにおける消費者行動モデル⁽⁶⁾と多人数型協力ゲーム理論⁽⁷⁾を適用した新しい方法論を提案する。そして前述した3種類の基本的ビジネスモデルを対象に、提案した提携戦略と形成されるVEの効率性との関係をシミュレーションにより解析し提案手法の有効性を明らかにするとともに、それぞれのビジネスモデルが有する特徴について考察を行う。

2. VE型ビジネスモデル

2.1 VEの概要 VEは、ある製品を生産する際に従来の一企業のみで生産を行うのではなく、技術・能

* 原稿受付 2003年4月30日。

^{*1} 正員、神戸大学大学院自然科学研究科(〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)。^{*2} 正員、神戸大学工学部情報知能工学科。

E-mail: kaihara@cs.kobe-u.ac.jp

力・資源を共有するために多くの企業が集まり、一時的に提携を結ぶことによってサプライチェーンを構築するという企業形態をもつ⁽³⁾。このように複数の企業が提携する場合、重要な課題となるのが適切な提携相手の選択、いわゆるパートナーリングである⁽⁸⁾。VEを構成する企業の選択が適切でない場合には十分な効果を得ることは難しく、その提携には大きなリスクを抱える。すなわちVEにおける企業経営を考える上で、有効な企業間交渉戦略の事前検討が重要な課題となる。

そこで本研究では、VEを計算機上でモデル化し、数種類の代表的ビジネスモデルにおける適切なパートナーリングの手法を提案するためのシミュレーションを行なう。VEに存在する企業をエージェント(ユニット)とし、エージェント同士が交渉を行うことによりVEを構築するモデルを考える(図1)。

Fig.1 VE model

図1において左側を上流(上工程)、右側を下流(下工程)とする。右端が最終消費者に相当し、その他が取引企業(以降、ユニット)に相当する。ユニットは上流から順に第1,2,...,m層とし、各層を担当するユニットの個数を n 個とする。実際に行われている企業間交渉と同様に、エージェント間の交渉は隣接する前後の層とのみ行うものとする。また本研究では、本質的な現象把握を容易にするために、1回の交渉で扱われる品種は1種類であるものとする。

2.2 VE型ビジネスモデル 19世紀末に出現した後、20世紀に確立された垂直統合ビジネスモデルでは、各企業が商品企画、製品開発、部品製造、製品組立、販売、物流といったあらゆる機能を社内に持ち、それをワンセットとして市場で顧客と取引するケースが多い。これに対して水平分業モデルとは、商品企画、製品開発、販売を行う企業が、部品製造や製品組立、物流の専門企業を使って製品を最終顧客へ販売する体制をもつ。近年においては、企業間の緊密な情報交換や連携といった垂直統合モデルの利点はITの発達により水平分業型モデルでも享受できるようになり、多くの産業に水平分業型モデルが出現している。

これらの状況は、そのままVEの企業構成にもあてはまる。VEにおいては、前述のとおりその企業構成に対する自由度は高く、さまざまな形態が考えられる。国内における垂直統合型VEの一例として東大阪のロダン21⁽⁹⁾が挙げられる。ロダン21では、製造・販売・デザインの3部会制を構成することで、製品の設計から販売までのすべてのレイヤをカバーする垂直統合型のVEを実現している。また国内における水平分業型VEの一例としては、試作というビジネスレイヤにのみ特化している京都試作ネット⁽¹⁰⁾などが挙げられる。また、従来の自動車産業などを代表とする系列関係のものづくりをVE的に捉えると、生産の上流にいくにつれ多くの下請け企業が生産に関わる形態であり、垂直統合・水平分業混合型モデル(逆ツリー型)と捉えることができる。そこで本研究では、VE型ビジネスモデルの基本モデルとして、VEの企業構成形態として代表的な以下の3つのタイプを対象とする。

- 垂直統合型VEモデル
- 水平分業型VEモデル
- 垂直統合・水平分業混合型VEモデル

以下に各モデルの基本的な考え方を示す。

垂直統合型VEモデル

図1に示したレイヤ構造において、同一レイヤ内の企業間における協業関係は存在せず、各レイヤよりそれぞれ一つずつの企業が提携することで、垂直統合型の競争関係下における企業間提携を行うモデルである⁽⁴⁾。また本研究における新しい取り組みとして、提携の過程において部品の購買者(消費者に相当)である下流側企業が部品の販売者(生産者に相当)である上流側企業を選択する際、マーケティングサイエンスにおける消費者行動論⁽⁶⁾を適用することで、より現実的な取引モデルの構築を試みる。

水平分業型VEモデル

同一レイヤ内の企業間が協業し、多様なオーダに対してレイヤ内でその時々適切なコンソーシアムを構築するモデルである。具体的には、京都試作ネットのように同一レイヤに含まれるVE企業が全体で共同受注を行うモデルと考えることができる。ここで重要なのが協業関係のモデル化であり、本研究ではゲーム理論における多人数協力ゲーム⁽⁷⁾の適用を試みる。

垂直統合・水平分業混合型VEモデル

同一レイヤ間ではある程度の協業を試みるが、企業提携の主導権はあくまで購買側である下流側がもつモデルである。この結果、垂直統合型モデルのように各レイヤで一企業が選ばれるのではなく、上流では需要側の要求によっては複数の企業が選択されうる。このよ

うな関係は、親会社が協力子会社グループを持つ場合に相当する。ここで下流側が複数の上流側提携企業を決定する手法として、協力ゲーム⁽⁷⁾の適用を試みる。

3. マルチエージェントによる定式化

3.1 マルチエージェント技術 VE提携の核となる生産計画は、様々な制約条件の下で数理計画法やシミュレーションなどを使用して作成されてきた。そして生産環境に変化が生じると、変化した条件に基づいて改めて生産計画を立て直していた。このような変化に対する柔軟性・適応性を実現する一手法としてマルチエージェント技術を用いる試みがなされており、この例としてスケジューリングや流通システムの資源配分問題にマルチエージェントシステムを導入するものなどが挙げられる⁽¹¹⁾。エージェントシステムを使用することにより、分散システム環境において自律的にデータを収集し判断することが可能となる。その結果、変化する市場のニーズに対応して生産計画をフレキシブルに変更し、よりきめ細かいVE提携手法の実現が期待される。このような観点から、本研究ではマルチエージェント技術に基づくVEのモデル化を試みる。

3.2 交渉の基本手順 エージェント間の交渉には、マルチエージェントシステムの問題解決法の1つであり、人間の契約行為をアナロジーとするアルゴリズムである契約ネットプロトコル⁽¹²⁾を適用する。契約ネットプロトコルは、複数の処理ノードの交渉を通じて問題を分割し、各ノードに副問題(タスク)を割り当てるためのプロトコルである。ノードとは協調的にタスクを処理するエージェントを指す。各ノードはマネージャかコントラクタのいずれかの役割を担当する。

- マネージャ: タスク処理を依頼するノード。タスク割当て、実行監視、処理結果の受領を担当
- コントラクタ: タスクの処理を引き受けるノード
本研究で対象とするVEモデルの交渉においては、従来研究と同様、上流のユニットがコントラクタ、下流のユニットがマネージャに相当する^(4, 5)。契約ネットプロトコルに基づいたエージェント間交渉の基本手順を以下に示す。

- **Step1(タスクアナウンス)**
下流(第 m 層)のユニットがマネージャとなり、コントラクタである上流(第 $m-1$ 層)の全ユニットに製品の処理を要求する。
- **Step2(入札)**
タスクアナウンスを受けたコントラクタは、あらかじめ定められた入札期限までに入札を行う。
- **Step3(落札)**
入札期限が過ぎると、マネージャは入札を行なった複数のコントラクタの中から、自らの価値基準に従って適切なコントラクタを落札する。

- **Step4**
落札されたコントラクタが今度はマネージャとなり、さらに上流(第 $m-2$ 層)の全ユニットにタスクアナウンスを行う。
- **Step5**
Step2~Step4を第1層まで繰り返し、1連のVEを形成する。
- **Step6**
落札された各ユニットは製品を処理し、業務提携を解消する。

ここで対象とするVE型ビジネスモデルは、いずれも顧客から出された初期タスクに対し、扱う製品の属性が複数存在する多目的なモデルを仮定する。ここで本研究では、それぞれの交渉で取り扱う製品の種類は1種類とし、それぞれ価格、量、リードタイムの3つの属性を持つものとする。また、企業間連携の結果として得られる最終製品の価格と量は最終工程における価格と量とし、リードタイムは各工程の処理によって付加された全工程の処理時間の総和とする。各ユニットは、自身の工程の前後における価格、量、リードタイムの3つの属性を交渉要素として取引交渉を行う。ここで、交渉を定式化する上で用いるパラメータは以下のとおりである。

P_{TA}^{ij}	: Unit $_{ij}$ のTA価格
Q_{TA}^{ij}	: Unit $_{ij}$ のTA量
L_{TA}^{ij}	: Unit $_{ij}$ のTAリードタイム
$Q_{BID}^{(i+1)j}$	: Unit $_{(i+1)j}$ の落札量
$L_{BID}^{(i+1)j}$	: Unit $_{(i+1)j}$ の落札リードタイム
P_{BID}^{ij}	: Unit $_{ij}$ の入札価格
Q_{BID}^{ij}	: Unit $_{ij}$ の入札量
L_{BID}^{ij}	: Unit $_{ij}$ の入札リードタイム
$P_{TA}^{(i+1)j}$	: Unit $_{(i+1)j}$ のアナウンス価格
$Q_{TA}^{(i+1)j}$	: Unit $_{(i+1)j}$ のアナウンス量
$L_{TA}^{(i+1)j}$	: Unit $_{(i+1)j}$ のアナウンス納期
$cost_{ij}$	: Unit $_{ij}$ の一製品処理コスト
$profit_{ij}$	: Unit $_{ij}$ の利益率
$processingtime_{ij}$	: Unit $_{ij}$ の処理時間/製品
$flexibilitytime_{ij}$	: Unit $_{ij}$ の調達予測時間/製品

以降では、各ビジネスモデルにおけるエージェントの定式化について示す。

3.3 垂直統合型VEモデルにおける定式化 交渉は前述した契約ネットプロトコルの基本手順をふまえて行われる。

- **タスクアナウンス(TA)**

マネージャはタスクアナウンス(以降、TA)を上流の層の全てのコントラクタに知らせ、その製品の処理にかかる価格、量、リードタイムを返答するようにコントラクタに要求する。それぞれ式(1)、式(2)、式(3)に従って決定される。

$$P_{TA}^{ij} = cost_{ij} \times (1 - profit_{ij}) \quad (1)$$

$$Q_{TA}^{ij} = Q_{BID}^{(i+1)j} \quad (2)$$

$$L_{TA}^{ij} = L_{BID}^{(i+1)j} - Q_{BID}^{(i+1)j} \times processingtime_{ij} \quad (3)$$

- 入札

各コントラクトはタスクアナウンスされた製品を自分の工程で処理する場合の価格、量、リードタイムを入札する。このモデルにおける交渉手順では上流の仕入れルートが確定する前に下流のマネージャに入札を行うため、仕入れの際の製品の価格とリードタイムに余裕を持たせる必要がある。それぞれのコントラクトが自分の処理にかかる価格、量、リードタイムにマージンを加えて入札する。価格に関しては、アナウンスされた価格より自らのコストの方が高いときは入札を行わない。価格、量、リードタイムはユニットごとに異なり、それぞれ以下の式に従って決定される。

$$P_{BID}^{ij} = cost_{ij}(1 + profit_{ij}/2) \quad (cost_{ij} < P_{TA}^{(i+1)j}) \quad (4)$$

$$Q_{BID}^{ij} = Q_{TA}^{(i+1)j}(1 + plus_{ij}) \quad (5)$$

$$L_{BID}^{ij} = Q_{TA}^{ij} \times (processingtime_{ij} + flexibilitytime_{ij}) \quad (6)$$

ただし、 $plus_{ij}$ は $Unit_{ij}$ の入札時増加量割合を示す。

- 落札

マネージャは、入札してきた複数のコントラクトの中から適切なコントラクトを1つ選択し落札する。この場合問題となるのが、各コントラクトが価格、量、リードタイムの3つの属性を入札するため、異なる属性を直接比較することができないことである。そこで前述したマーケティングサイエンスにおける消費者のモデルの中から辞書編さん型モデルと最尤階層モデルを適用する⁽⁶⁾。これらのモデルは非補償型モデルと呼ばれ、属性間の補償(変換)が不可能であるモデルに適用可能である。本研究ではいくら価格が安くても納期を満たしていないと落札できないといった状況を考慮するため、非補償型モデルの適用を行う。以下に落札までの手順を示す。

辞書編さん型モデル(Lexicographic Model)

1. あらかじめ各属性に対し優先順位をつける
2. 各対象を最も重要な1つの属性に関して評価し、最も評価の高い対象を選択する
3. そのような対象が複数個ある場合には2番目に重要な属性に関して評価を行い、対象が1つに特定されるまで順次このプロセスを繰り返す

最尤階層モデル(MLH Model)

1. あらかじめ各属性に対して優先順位をつける
2. 最も重要な属性に関して次のような規準化を行う

$$\tilde{z}_{ij} = \frac{(\text{残っている } j \text{ の中で最大の } z_{ij}) - z_{ij}}{(\text{残っている } j \text{ の中で最大の } z_{ij})}$$

z_{ij} : 第 i 属性についての対象 j の評価値

$\tilde{z}_{ij}$: z_{ij} を規準化した値

3. この値が許容誤差 $\tau_i\%$ 以内ならば考慮の対象から外さずに次の属性による評価まで残しておく

4. すべての対象の評価を終えると、各対象 j の選好度の指標 V_j を以下のように求める

$$V_j = (\tau_1 - \tilde{z}_{1j}) \times (\tau_2 - \tilde{z}_{2j}) \times \cdots \times (\tau_i - \tilde{z}_{ij})$$

すべての選好指標を求め終えると、各対象 j が選択される確率 P_j は以下のように求める

$$P_j = \frac{V_j}{\sum_{k=1}^n V_k}$$

ただし、 n :すべての対象の数

3.4 水平分業型VEモデルにおける定式化 交渉手順は、3.3と同様に契約ネットプロトコルに基づくものとする。また共同受注を行うために、コーディネータと呼ばれる同一層のコントラクト群をまとめるエージェントを用いる。

- タスクアナウンス

マネージャはタスクアナウンスを上流の層のコーディネータに知らせ、その製品の処理を行うかどうかを返答するようコントラクトに要求する。なおこの処理は、垂直統合型VEモデルの場合と同一である。

- 入札

コーディネータは自らが受け持つコントラクトの能力を把握し全員の利益の合計が最大となるような提携を求め、それを入札する。コーディネータは同一層のコントラクトを一手に受け持つので、そのコントラクト間では競争関係が生じない。よってどのような提携に対しても、利益が得られない等特殊な状況を除いてアナウンスされた条件を満たしていれば落札されるので、入札値はTA値と等しくなる。ここで、入札値はそれぞれ式(7)、式(8)、式(9)に従って決定される。

$$P_{BID}^{ij} = P_{TA}^{(i+1)j} \quad (7)$$

$$Q_{BID}^{ij} = Q_{TA}^{(i+1)j} \quad (8)$$

$$L_{BID}^{ij} = L_{TA}^{(i+1)j} \quad (9)$$

- 落札

落札されたコーディネータは、全員の利益の合計が最大となるような提携を求め、それを実現するようにタスクの分割を行う。全員の利益の合計が最大となるような提携は以下のアルゴリズムに従い求められる。

1. 各提携の特性関数 $(V(S))$ を求める

$$V(S) = U_{profit}(S) \times U_{leadtime}(S) \quad (10)$$

ただし、

$U_{profit}(S)$: 提携 S による利益 (最もコストの安いものが納期の許す限り処理を行い、全体のコストが最小になるように量を分配)

$U_{leadtime}(S)$: 提携 S の納期制約チェック

(制約満足:1 制約違反:0)

2. 優加法性を満たす特性関数の値が最大の提携に従いタスクの分割を行う

それらの分割されたタスクをそれぞれ担当のコントラクタが処理を行い、得られた利益の分配は、上で得た特性関数 ($V(S)$) に基づく協力ゲームにおけるシャープレイ値を求めて実施する。

なお優加法性とは、提携プレイヤーの集合を $N = \{1, 2, \dots, n\}$ とし、その部分集合として表される二つの提携 S と T があり提携による利得を U とする場合、すべての $S \cap T = \phi$ となる $S, T \subset N$ に対し、

$$U(S \cup T) \geq U(S) + U(T) \quad (11)$$

が成り立つことを意味する。言い換えると、2つの提携 S と T は合併した方が利得が大きくなる。ここで以下に、シャープレイ値の求め方⁽⁷⁾について簡単に説明する。プレイヤー集合 N を固定し、 n 人特性関数形ゲームの特性関数 v の全体の集合 V を考える。ここで v は、必ずしも優加法性を満たす必要はない。このとき、以下に示すベクトル値関数 $\phi(v)$ を特性関数形ゲーム (N, v) のシャープレイ値と呼ぶ。

$$\phi_i(v) = \sum_{S: i \in S \subset N} \frac{(|S| - 1)!(n - |S|)!}{n!} \times (v(S) - v(S \setminus \{i\})) \quad (12)$$

ここで、 $|S|$ は提携 S のメンバーの数を表し、 $l!$ は 0 以上の整数 l の階乗を表す。また、 $S \setminus \{i\}$ は、 i を含まない提携であることを示す。

協力ゲームの主な目的は、提携が行われたときにその利得をどのように分配するかである。また、特性関数型ゲームにおいてコアや仁は優加法性が与えられて初めて解が存在するのに対し、シャープレイ値は必ずしも優加法性を満たすことが前提ではない。本モデルでは必ず優加法性を満たすという保証がない状況を取り扱うため、利益の分配に上述のシャープレイ値を適用する。

3.5 混合型 VE モデルにおける定式化 VE を構築する際、そのサプライチェーンが 1 本ではなく水平分業的に同一層同士で協力することも考えられる。そのような水平分業的状況を考える。本モデルでは、同一層内での協力をマネージャ側である下位の層が決める、それを遂行するといった垂直統合的な状況を対象とす

る。このような状況は日本における自動車産業がその典型的な例であり、親会社が複数の系列会社を持ち、親会社の支配力が強い場合に相当する。同一層内での協力関係を築く方法としては、協力ゲームにおける優加法性を用いた手法を提案する。

- タスクアナウンス

マネージャはタスクアナウンスを上流の層の全てのコントラクタに知らせ、その製品の処理にかかる価格、量、リードタイムを返答するようコントラクタに要求する。なおこの処理も、垂直統合型・水平分業型 VE モデルと同じである。

- 入札

各コントラクタはタスクアナウンスされた製品を自分の工程で処理する場合の価格、量、リードタイムを入札する。この際、各入札値はそれぞれ式 (13)、式 (14)、式 (15) に従って決定される。

$$P_{BID}^{ij} = cost_{ij}(1 + profit_{ij}) \quad (cost_{ij} < P_{TA}^{(i+1)j}) \quad (13)$$

$$Q_{BID}^{ij} = Q_{TA}^{(i+1)j} / N_i \quad (14)$$

$$L_{BID}^{ij} = Q_{TA}^{ij} \times (processingtime_{ij} + flexibilitytime_{ij}) \quad (15)$$

ただし、

N_i : 第 i 層での協力人数

- 落札

マネージャは、入札してきた複数のコントラクタの中から自らの効用を満たすような適切なコントラクタの組み合わせを選択し落札する。この際マネージャは、前述の協力ゲーム理論における優加法性に基づき、以下の手順で落札を行う。

1. 提携 S のすべての組み合わせに対して特性関数 ($V(S)$) の値を求める。このとき特性関数は各入札値の利益とリードタイムの効用値を元に以下の式で決定する。

$$V(S) = U'_{profit}(S) \times U_{leadtime}(S) \quad (16)$$

ただし、

$U'_{profit}(S)$: 提携 S のマネージャ利益

2. 本モデルでは、各特性関数の値を提携のプレイヤーが増えることで効用値が大きくなるような優加法性が満たされる中で、特性関数の値が最大の提携に対し落札を行う。

以上の定式化に基づく 3 つの VE モデルを対象に、計算機実験の結果と考察について次章に示す。

4. 計算機実験

4.1 実験条件 計算機実験では、図 1 に示した VE 基本モデルについて、サプライチェーンの層の数 (m)

Table. 1 Experimental condition

m	3
n	3, 10
τ_i	40%
$cost_{2,i}$	85~95
$cost_{1,i}$	45~55
$cost_{0,i}$	15~25
$profit_{i,j}$	0.17~0.23
$plus_{i,j}$	0.08~0.12
$processingtime_{i,j}$	0.08~0.12
$flexibilitytime_{i,j}$	0.10~0.20

Table. 2 Order of priority

price > quantity > leadtime	Method1
price > leadtime > quantity	Method2
quantity > price > leadtime	Method3
quantity > leadtime > price	Method4
leadtime > price > quantity	Method5
leadtime > quantity > price	Method6

を3, 各層のユニットの数(n)を3あるいは10としたモデルを対象として, 500回製品を処理させた場合におけるVE全体の利益, 在庫, リードタイムの平均値を調べる。この際, 第0層のユニットは仕入れを行わないので第0層の利益・在庫はサプライチェーン全体の利益, 在庫には含めないこととする。なお本研究では, これらのVE型ビジネスモデルを比較する際に, 従来より取り組んでいる垂直統合型モデルを基本として, 中間層である第一層ユニット群(Unit1*)のビジネスモデルのみを意図的に変化させ, 各VE型ビジネスモデルの比較を行う。これは, 比較対象となるモデルをただやみくもに変化させるのではなく, ある程度実験条件をそろえた上でモデルに必要最低限の変化を与えることにより, 適切な比較・考察を行うことを狙いとする。なお本実験では, 初期タスクの平均値は価格100, 量100, 納期30と設定し, その他の実験条件は表1のとおりである。また乱数はすべて一様乱数に従うものとする。

4.2 垂直統合型VEモデルの基本特性解析(モデル1) ここでは, サプライチェーンの層の数を3, 各層のユニットの数を3としたモデルを対象として, 基本特性解析を行う。ここで3.3で示した各属性の優先順位については, 表2に示す6種類の方法を試みる。

辞書編さん型モデルを表2の優先順位に従ってシミュレーションしたときの, VE全体の利益・在庫・リードタイムの平均値と標準偏差, および比較のためにランダムに選択した結果を表3に, また最尤階層モデルの結果を表4にそれぞれ示し, 以降ではモデル別の考察を述べる。

辞書編さん型モデル

表3からわかる通り, 原則として最も優先度が高い属性値について良好な結果が得られている。そして属性値間にはトレードオフの関係があるため, すべてを同時に良くすることはできない。また一番優先度が高

Table. 3 Total result of lexicographic model

	Method1		Method2	
	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.
Profit	8076.05	947.00	8076.05	947.00
Stock	21.14	2.50	21.14	2.50
Leadtime	24.10	2.82	24.10	2.82
	Method3		Method4	
	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.
Profit	8086.16	947.69	8086.16	947.69
Stock	20.51	2.47	20.51	2.47
Leadtime	22.97	2.73	22.34	2.66
	Method5		Method6	
	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.
Profit	7506.56	879.68	7506.56	879.68
Stock	23.56	2.83	23.56	2.83
Leadtime	21.17	2.45	21.17	2.45
	Random			
	Ave.	S.D.		
Profit	7794.52	937.42		
Stock	22.67	3.07		
Leadtime	22.54	2.94		

Table. 4 Total result of MLH model($\tau = 0.4$)

	Method1		Method2	
	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.
Profit	7513.20	879.25	8092.68	946.84
Stock	23.56	2.82	20.51	2.47
Leadtime	21.18	2.45	22.35	2.65
	Method3		Method4	
	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.
Profit	7513.20	879.25	8082.60	946.19
Stock	23.56	2.82	21.14	2.50
Leadtime	21.18	2.45	24.11	2.81
	Method5		Method6	
	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.
Profit	8092.68	946.84	8082.60	946.19
Stock	20.51	2.47	21.14	2.50
Leadtime	22.98	2.73	24.11	2.81

い属性が同じ場合, 得られる結果がほぼ同じになるのが確認できる。この理由として, 各属性の評価値に連続量を用いたことにより一番目に評価する時点で最もよい評価値が一意に定まってしまう, それ以降の評価を行うことなく対象を選択してしまうことが挙げられる。またMethod別の比較では, *quantity*を第一優先にするケースが比較的良好な結果を得ている。これは在庫減が結果として最終的に形成されるVE全体のスループット向上に効くためであり, 需要が比較的固定的である場合, 垂直統合型の一気通貫モデルに特徴的な統一的意思決定環境下において全在庫が機動的に少なくなり, 特にうまく作用しているからである。

最尤階層モデル

辞書編さん型モデルでは, 第一優先の属性値ごとにほぼ同様の結果が得られた。これに対し最尤階層モデルでは, 最も優先度が低い属性値ごとに結果が分かれていることが分かる。これは, 今回の実験条件では属性値の許容誤差(τ)に比較的小さい余裕があり, 最後の属性評価に至るまで積極的な絞り込みが行われていないことを示している。ここでは紙面制約の都合上, 詳細な実験結果は示さないが, 最尤階層モデルではこの許容誤差の値を調整することにより, 属性値間の重みを自然に変更することが可能であることが確認された。

つづいて, VE内における取引相手が増加した場合

Table. 5 Total result of lexicographic model(3×10)

	Method1		Method2	
	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.
Profit	7941.03	962.42	7941.03	962.42
Stock	19.96	2.38	19.96	2.38
Leadtime	23.67	3.22	23.67	3.22
	Method3		Method4	
	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.
Profit	7941.03	962.42	7583.25	1086.65
Stock	19.96	2.38	19.96	2.38
Leadtime	23.67	3.22	21.26	2.97
	Method5		Method6	
	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.
Profit	7356.49	884.25	7058.46	825.87
Stock	22.61	2.85	21.77	2.69
Leadtime	20.69	2.89	20.75	2.93
	Random			
	Ave.	S.D.		
Profit	7319.00	933.49		
Stock	22.43	2.86		
Leadtime	22.69	3.59		

Table. 6 Total result of MLH model(3×10 , $\tau = 0.4$)

	Method1		Method2	
	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.
Profit	7365.45	881.09	7390.09	884.49
Stock	22.38	2.83	21.14	2.50
Leadtime	20.74	2.86	21.25	2.92
	Method3		Method4	
	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.
Profit	7360.69	880.00	7692.87	916.57
Stock	22.61	2.84	21.71	2.45
Leadtime	20.69	2.82	23.66	3.17
	Method5		Method6	
	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.
Profit	7189.76	853.37	7692.87	916.57
Stock	20.61	2.45	21.71	2.45
Leadtime	23.66	3.17	23.66	3.17

を想定し、各層のユニット数が3から10に変化させて実験を行った。この際、辞書編さん型モデルおよび最尤階層モデル(許容誤差: $\tau = 0.4$)における各ユニット毎の利益・在庫・リードタイムの平均値と標準偏差を表5および表6にそれぞれ示す。

表5および表6を表3および表4と比較すると、取引相手が増加することによってどちらも全体的な取引は変動するものの、辞書編さん型モデルでは各属性の平均値における格差が大きくなっているのに対し、最尤階層モデルではその格差がほぼ同等であることが確認できる。このことから最尤階層モデルは、属性の優先度を柔軟に取り扱うことで、取引相手の数にかかわらず安定した取引を実現していることが確認された。

4.3 水平分業型VEモデルの基本特性解析(モデル2) サプライチェーンの層の数を3、各層のユニットの数を3および10としたモデルを対象としてシミュレーションしたときの、サプライチェーン全体の利益・在庫・リードタイムの平均値を表7に、ユニット数が3つのときの各ユニット毎の利益・在庫・リードタイムの平均値を表8にそれぞれ示す。なお実験条件はすべて4.2と同様である。

表7より、上記モデル1に比べこのモデルではユニット数の増加の影響が少なく常に安定した取引が行われていることが分かる。また表8より、第1層ユニット

Table. 7 Total result of model2

	3Units		10Units	
	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.
Profit	6179.73	730.06	6200.25	765.00
Stock	21.28	2.57	21.13	2.51
Leadtime	16.44	2.14	19.17	4.02

Table. 8 Unit result of model2

	Unit20	Unit21	Unit22
Profit	1024.94	31.54	14.29
Stock	10.08	0.26	0.1
Leadtime	8.78	0.22	0.09
	Unit10	Unit11	Unit12
Profit	2858.94	2250.02	0.00
Stock	6.39	4.45	0.00
Leadtime	8.37	4.43	0.00

(Unit10,Unit11)間の協力関係が確認できる。さらに第1層ユニットの全体利益が第2層よりもかなり大きな値となっていることから、本モデルではマネージャつまり下流企業による支配関係は存在せず、コントラクタ側主体の取引となっていることが確認できる。

4.4 混合型VEモデルの基本特性解析(モデル3)

サプライチェーンの層の数を3、各層のユニットの数を3および10としたモデルの結果について、VE全体の利益・在庫・リードタイムの平均値を表9に、ユニット数が3つのときの各ユニット毎の利益・在庫・リードタイムの平均値を表10に、それぞれ示す。やはり実験条件はすべて4.2と同様である。

表9より、モデル2と同様にユニット数の増加にかかわらず安定した取引が可能となっている。また表10より、第1層での協力関係も確認された。しかし、第1層ユニットの全体利益よりも第2層の全体利益が大きいことから、モデル2と異なり、マネージャによる支配関係が存在することが確認できる。

4.5 各VE型ビジネスモデルの比較 ここでは各VE型ビジネスモデル間の特性比較として、需要変動に対する各モデルの柔軟性を確認する。需要変動としては、初期タスクの納期が0.5倍(15)に変化、量が1.5倍(200)に変化、およびその両方が変化した場合について実験を行った。ただし、水平分業型モデルとしては辞書編さん型モデルのMethod1を用いた。各モデルのVE全体の利益・在庫・リードタイムの平均値を表11・表12・表13にそれぞれ示す。なお表中(x, y)は、納期が x 倍、量が y 倍であることを示す。

これらの結果よりわかることとして、

- どのモデルも(0.5, 1.5)の初期タスクでは納期を満たすことができない
- モデル2,3は(0.5, 1.0)または(1.0, 1.5)の初期タスクに対し納期を満たすことができる
- すべての初期タスクに対して最も利益が大きな値となったのはモデル1である
- すべての初期タスクに対して最も在庫が小さな値

Table. 9 Total result of model3

	3Units		10Units	
	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.
Profit	7928.55	930.86	7904.90	973.48
Stock	22.32	2.70	21.81	2.71
Leadtime	16.69	2.07	17.68	2.55

Table. 10 Unit result of model3

	Unit20		Unit21		Unit22	
	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.
Profit	3968.46	91.87	54.67			
Stock	10.31	0.23	0.12			
Leadtime	8.80	0.20	0.11			
	Unit10		Unit11		Unit12	
	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.
Profit	1959.81	1853.74	0.00			
Stock	5.12	6.54	0.00			
Leadtime	6.86	7.56	0.00			

となったのはモデル1である

- ほとんどの初期タスクに対して最もリードタイムが短い値となったのはモデル3である

以上のことよりまとめると、

- 垂直統合型モデルでは協力関係を持たないため、納期や量の変化に対応するのは困難だが、利益の値は最も大きく納期に余裕がある場合等特定の条件下では最高のパフォーマンスを発揮する
- 水平分業型モデルでは利益は垂直統合に劣るが、納期や量の変化に対しては強く、変種変量生産体制に向いていると考えられる
- 混合型モデルは基本的に上記2つのモデルの中間的な特徴を持ち、属性の平均値に着目するとそれぞれの利点を兼ね備えたビジネスモデルである。ただしその利益は、下流側企業に集まる傾向にある

本論文で示したVE型ビジネスモデルは簡易な抽象モデルにすぎず、また得られたVE特性の一部は我々の定式化に従うところがあり、必ずしも全てが一般化された特性とはいえない。しかし少なくとも、それぞれのプリミティブなVE型ビジネスモデルにおける基本的性質については、提案した交渉戦略との係わり合いも含めその一般性がある程度示せたと考えている。

5. おわりに

本論文では、まず近年注目を浴びているVEについて概説し、VE型ビジネスモデルを3種類に大別した。次にVEの提携戦略について、契約ネットプロトコルをベースに、マーケティングサイエンスにおける消費

Table. 11 Total result of lexicographic model1

	(1.0, 1.0)		(0.5, 1.0)	
	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.
Profit	8076.05	947.00	8076.05	947.00
Stock	21.14	2.50	21.14	2.50
Leadtime	24.10	2.82	24.10	2.82
	(1.0, 1.5)		(0.5, 1.5)	
	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.
Profit	12098.30	1413.53	12098.30	1413.53
Stock	31.64	3.79	31.64	3.79
Leadtime	36.10	4.21	36.10	4.21

Table. 12 Total result of model2

	(1.0, 1.0)		(0.5, 1.0)	
	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.
Profit	6179.73	730.06	5919.06	708.20
Stock	21.28	2.57	21.82	2.68
Leadtime	16.44	2.14	13.47	1.81
	(1.0, 1.5)		(0.5, 1.5)	
	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.
Profit	9263.05	1084.19	8889.12	1047.26
Stock	32.12	3.82	33.04	3.81
Leadtime	25.49	2.99	20.67	2.59

Table. 13 Total result of model3

	(1.0, 1.0)		(0.5, 1.0)	
	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.
Profit	7928.55	930.86	7928.55	930.86
Stock	22.32	2.70	22.32	2.70
Leadtime	16.69	2.07	12.98	1.62
	(1.0, 1.5)		(0.5, 1.5)	
	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.
Profit	11877.20	1390.56	11877.20	1390.56
Stock	33.49	4.02	33.49	4.02
Leadtime	24.95	2.99	19.41	2.31

者行動モデルと多人数型協力ゲーム理論を適用した新しい方法論を提案した。最後に計算機実験により、提案した提携戦略と形成されるVEの効率性との関係や、各ビジネスモデルが有する特徴について明らかにした。なお今後の課題としては、交渉戦略の精緻化や対象とするビジネスモデルの拡張などが挙げられる。

文 献

- (1) M. L. Fisher, Making supply meet demand in uncertain world, *Harvard Business Review*, May/Jun (1994)
- (2) 貝原俊也, マルチエージェントによるサプライチェーンの企業間交渉モデル, システム/制御/情報, Vol.46, No.10, pp. 615-623 (2002)
- (3) L. M. Camarinha-Matos, The Virtual Enterprise Concept, *Infrastructures for virtual enterprise*, Kluwer, Boston, pp. 3-14 (1999)
- (4) 貝原俊也, 藤井進, 坂中真弓, アジル生産環境下におけるバーチャルエンタプライズの交渉戦略, 機論C, Vol.67, No.661, pp. 3047-3064 (2001)
- (5) 貝原俊也, 藤井進, バーチャルエンタプライズにおけるパートナーリングに関する一考察—ゲーム論的アプローチ, 機論C, Vol.69, No.680, pp. 1153-1160 (2003)
- (6) 片平秀貴, マーケティングサイエンス, 東大出版 (1987)
- (7) 鈴木光男, 武藤滋夫, 協力ゲームの理論, 東大出版 (1985)
- (8) 梅沢豊, 特集にあたって, オペレーションズ・リサーチ, Vol.44, No.10, pp. 538-541 (1999)
- (9) <http://www.rodan21.com/>
- (10) <http://kyoto-shisaku.com/>
- (11) T. Kaihara, Supply Chain Management with Market Economics, *Int. J. Production Economics*, Elsevier Science, Vol. 73, Issue 1, pp.5-14 (2001)
- (12) R. G. Smith, The Contract Net Protocol: High-Level Communication and Control in a Distributed Problem Solver, *IEEE Trans. on Computers*, Vol. 29, No. 12, pp. 1104-1113 (1980)