

# マルコフ意思決定過程を用いた IP-電話サービス産業の 収益モデルに関する研究\*

韓 尚 憲

## 要 約

深刻化する不況のなか、企業のネットワーク投資は停滞し、キャリアの設備投資も冷え込んでいる。ベンダーの競争激化によって通信機器・サービスの価格低下が進む一方、IP 関連の新規需要はまだ十分に顕在化しておらず、通信ビジネスの環境はことさら厳しい状況にある。その影響で、大手企業を含む多くの通信産業は、IP ネットワーク上で電話システムを構築できる IP—PBX の販売や IP-電話サービスを本格化している。しかしながら、装置販売およびソリューション分野以外には明確な収益モデルがないため、その収益性は不透明なのが、現状である。本研究では、既存のサービス分野で適用されている効果的な収益管理 (Revenue Management) 概念を IP-電話サービス分野へ適用し、多様な料金レベルを提示することによって、潜在需要の促進、さらに全体の利益を最大化するための最適化ベースの収益管理モデルを提案した。さらに、模擬実験を行いモデルの有効性を確かめてみた。

## キーワード

IP-電話、収益管理 (Revenue Management)、マルコフ意思決定過程 (Markov Decision Process) モデル

## 1 はじめに

インターネット利用の活性化によって、インターネットを基盤とするさまざまなビジネスが展開されている。インターネットを利用したビジネスは、地域や時間の制約を受けずにすむ利点を持つ[8]。しかしながら、インターネット・ビジネスに対する明確な収益モデルが不在であるため、多くのインターネット・ビジネス関連企業において管理システムの効率性は低下しているのが現状である。そこで、既存のサービス産業分野に適用されている効率性の高い管理方式である収益管理 (Revenue Management) 概念をインターネット・ビジネス分野に導入する必要があると思われる。本研究では、インターネットを基盤とするさまざまなビジネスにおいて、特に IP-電話サービスを対象とした収益管理モデルを提示する。即ち、同一の IP-電話サービスに対して多様な料金水準を提示することによって潜在需要を引き出し、全体収益を最大化するために、料金水準別販売を可能とする数量を設定するための、最適化基盤の収益管理モデルを提示する。

---

\* 本研究は文部科学省科学研究費補助金を受けた。また、平成16年9月に「日本生産管理学会全国大会」で発表した論文を土台として、その後新しい研究成果を加えた論文である。

## 2 消滅性資産の収益管理

### 2.1 消滅性資産の形態と特徴

収益管理を扱ううえで、考慮すべき要素の一つが製品の特徴である。生産された製品が生産と同時に販売できない場合、それが在庫となるが、次の期間に持ち越して販売できない場合、消滅するという特徴を持つ製品が消滅性資産であり、本研究ではこれを対象とする[7]。飛行機の座席、ホテルやレンタカー産業が提供するサービスなどが、そのような特徴を持つ代表的な例である。さらに、施設投資費用に比べて製品単位当りの運用費用が非常に小さい場合、あるいは技術開発周期が早い先端技術、流行に敏感なファッション産業、そして時間の経過によって価値が減少する農・水産物なども対象となろう。最近では、インターネットの発達によって活性化しているインターネット・ビジネス分野にも収益管理が適用できると考えられる。

消滅性商品は一般的に次のような特徴を持つ[7]。

- ・ サービスあるいは商品が、生産される時点に限って利用可能であり、在庫として保存できない。
- ・ 供給量に対する制約が存在する。
- ・ 価格による市場細分化が可能である。

### 2.2 消滅性資産の収益管理体系

一般的に、航空、列車やホテルなどの予約基盤サービス産業などの消滅性の収益管理体系は、図1のようなプロセスを持っている。

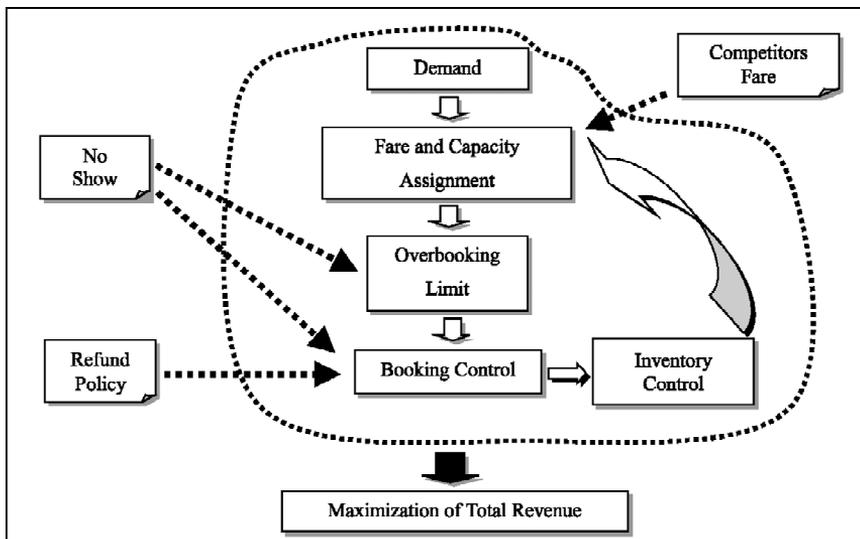


図1 予約基盤サービス産業の収益管理システム

## 3 IP-電話サービスの収益管理モデル

IP-電話サービスの収益管理モデルには、料金水準別の需要特性と需要発生形態を考慮しなけ

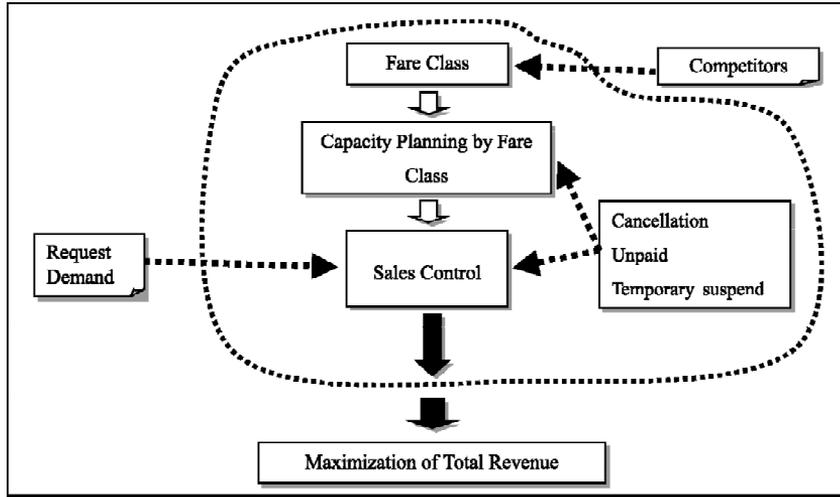


図2 IP-電話サービス業の収益管理システム

ればならない。本研究では、各料金水準別に発生する需要が他の料金水準の加入者とは独立であると仮定し、問題を簡略化する。即ち、各料金水準から発生する新規需要は各々の料金水準の加入者数によって影響を受けず、加入者の全体数によって影響を受けると仮定する。さらに、本研究では、低い料金水準の需要より高い料金水準の需要が先に発生する場合を考慮する動的収益モデルを扱うことにする。

IP-電話サービスでは、需要管理のために考慮される料金水準、キャンセルおよび長期利用者に対する料金割引などが重要な要素と考えられる。この要素は、さまざまな特徴があり、効果的な収益管理モデルのために次のような仮定を設定する。

- ・ 料金水準は  $m$  個で区分され既に与えられたと仮定し、料金水準間の影響はないと仮定する。
- ・ 各料金水準による期待収益はキャンセル率、未納率などを考慮し決定する。

	Air Line Co.	IP-Telephone Service Provider
Service	Capacity of seats	Capacity of Telephone Gateway Server
Time to service	After reservation (after $m$ -time)	Time to reservation
Fare class	Level $m$ (normal / discount)	Level $m$ (normal / discount)
To service	Single path Multi path	New entry New entry + added charge service
Increase unit	Aircraft 1-unit	Capacity of Gateway Server
Behavior of consumer	Reservation, cancellation, payback, no-show	Entry, cancellation, unpaid, temporary suspend
Marketing	Up-grade	Discount
Concept of revenue	Profit maximization by revenue management before service providing	Profit maximization by revenue management after service providing
Decision making	Reservation limit each fare class Reservation limit of demand	Sales capacity each fare class Control of gross income for requested demand

- ・各料金水準別に発生する需要は、他の料金水準の需要とは独立である。
- ・各料金水準を利用する顧客はキャンセル可能で、キャンセル率は他の料金水準料金、加入者数あるいはキャンセル率とは独立で発生する。この場合、キャンセルによって発生する損失は期待損失として考慮される。
- ・各料金水準の優秀顧客は割引ができる。割引対象の顧客になった場合は、キャンセルまでに料金の割引が保持できる。また、各料金水準別料金割引率は、料金水準別加入者数とは独立である。
- ・考慮する事業期間は、 $T$  期間とする。

本研究では、以上の仮定を元に  $T$  期間収益が最大化できる IP-電話サービス事業分野に適用する動的収益管理モデルを提案する。

IP-電話サービス事業の場合、需要管理側面から特定の時点で発生可能なイベントとして、新規需要の発生、キャンセル、料金割引の要求、あるいはイベントの発生がない、などが考えられる。このイベントが発生する可能性は各時点ごとに変化するため、時点の変化に従う確率値の変化を考慮するマルコフ意思決定過程 (Markov Decision Process) モデルを導入する。即ち、現時点から一定期間までの計画期間を設定し、その期間の間発生する収益を最大化する需要管理モデルを考える。

IP-電話サービス事業の需要管理に対して、ある時点で発生しうイベントは次のものである。

- i) 料金水準  $i$  に対する新規需要の発生
- ii) 料金水準  $i$  需要のキャンセル要求
- iii) 料金水準  $i$  利用者の料金割引要求
- iv) イベント発生なし

上の状況に対する発生可能性は、次のような確率で表す。

$p_{in}$  :  $n$  段階時点の料金水準  $i$  の新規需要発生確率

$q_{in}(x)$  :  $n$  段階時点の加入者が  $x$  の場合の料金水準  $i$  のキャンセル確率

$r_{in}(x)$  :  $n$  段階時点の加入者が  $x$  の場合の料金水準  $i$  の料金割引確率

$O_n(x)$  :  $n$  段階時点で加入者が  $x$  の場合のイベント発生がない確率

確率の定義によって、各段階  $n$  に対して、

$$\sum_{i=1}^m (p_{in} + q_{in}(x) + r_{in}(x)) + O_n(x) = 1 \quad (1)$$

が成立する。

このモデルを簡略化するために、キャンセル確率と料金割引確率が各段階で同一な関数を持つと仮定すると、次のような関係式が得られる。

$$q_{in}(x) = \hat{q}_i(x), \quad r_{in}(x) = \hat{r}_i(x), \quad \forall i, n. \quad (2)$$

( $\hat{q}_i(x)$  と  $\hat{r}_i(x)$ ) は、加入者  $x$  の料金水準  $i$  がキャンセルされる確率と料金割引確率)

IP-電話サービスの需要と関連して、ある時点で発生するイベントを一つの状況として考え、各状況から発生する時点を一つの段階として区分すれば、動的計画方法の概念を適用できる。即ち、IP-電話サービス事業で、 $n$  段階で考えうる状況 (イベント) は、「各料金水準の新規需要」、「各料金水準のキャンセル要求」、「各料金水準での料金割引要求」、および「どのようなイ

メントも発生しない状況」であると定義できる。従って、IP-電話サービスの需要と関連した変動は、 $n$  段階の状況  $k$  から  $n+1$  段階の新しい状況  $k'$  へ変動する過程として考えてもよい。この場合、状況  $k$  と  $k'$  は独立と仮定しているから、各段階での状況の発生確率も独立である。このような動的計画問題の特徴を持つ場合、 $n$  段階での総期待収益は、 $n$  段階から  $n+1$  段階へ進行するに伴う収益と  $n+1$  段階での総期待収益の和として表すことができ、段階 0 から最終段階まで順次に拡張することによって最大収益を得られる。

動的需要管理モデルでは、一定期間の間に同一の料金需要が発生することはなく、互いに異なる料金水準の需要が混雑して発生する。また、航空会社の需要管理モデルとは違って、需要要求時点からサービスが提供すると共に、一定期間 ( $T$  期間) の間に収益が発生される。従って、 $n$  時点から一定期間発生する収益の期待値を計算するため、次のように記号を定義する。

$R_m$  : 料金水準需要  $i$  に対する  $n$  時点以降  $T$  期間までの期待収益

$\delta_m$  : 料金水準需要  $i$  に対する  $n$  時点で解約が発生する場合の  $T$  期間までの期待収益減少

$g_m$  : 料金水準需要  $i$  に対する  $n$  時点で料金割引が適用された場合  $T$  期間までの期待収益減少

$Q$  : サーバの最大需要能力

$U_n(X)$  :  $n$  時点での加入者が  $x$  の場合、 $n$  時点から  $T$  時点までの総期待収益

このとき、 $U_n(X)$  に対する関数は、次のような動的収益管理モデルとして表すことができる。

$$U_n(X) = \sum_{i=1}^m \{ P_m \text{Max}\{R_m + U_{n+1}(x+1), U_{n+1}(x)\} + \hat{q}_i(x)(-\delta_m + U_{n+1}(x-1)) + \hat{r}_i(x)(-g_m + U_{n+1}(x))\} + O_n(x)U_{n+1}(x)$$

$$0 \leq x \leq Q, n \geq 1$$

$$U_r(x) = E[\pi(x)], x = 0, 1, \dots, Q \quad (3)$$

ここで、 $\pi(x)$  は、 $T$  時点で加入者の数が  $x$  の場合に、残された余裕容量から得られる将来の追加期待価値を表す関数である。また、 $U_T(x)$  が非増加凹関数 (Non-increasing Concave) の特徴を持つことによって、 $U_n(x) - U_{n+1}(x+1)$  も非増加凹関数の特徴を持つ。以上の特徴を利用すれば、各段階で発生する料金水準  $i$  の新規需要に対するサービス許容・不許容を決定する基準として活用でき、各料金水準別の最大販売許容量の基準も決定できる。

各料金水準  $i$  に対して  $n$  段階で発生した需要のサービス許容による期待収益は、次のような式で表せる。

$$\begin{aligned} V_m(x) &= \max\{R_m + U_{n+1}(x+1), U_{n+1}(x)\} \\ &= \max\{R_m - U_{n+1}(x) - U_{n+1}(x+1), 0\}, x = 0, 1, \dots, Q \end{aligned} \quad (4)$$

また、各料金水準  $i$  での  $n$  段階の新規需要許容による期待利益が最大になるための条件は、以下のようになる。

$$U_{n+1}(x) - U_{n+1}(x+1) \leq R_m \quad (5)$$

式(5)の条件が満たされた場合、料金水準  $i$  の需要を許容するのが全体期待利益を最大化できる。

式 (5) を、 $n$  時点で二つの料金水準  $i$  と  $j$  に対し、以下の条件が満たされる場合に拡張して考えると、

$$R_{in} < U_{n+1}(x) - U_{n+1}(x+1) \leq R_{jn} \quad (6)$$

この場合は、料金水準  $i$  の需要を棄却して、料金水準  $j$  の需要を許容することにより、全体収益を最大化できる。

また、式 (5) を利用すれば、 $n$  段階で料金水準  $i$  の最大販売可能量  $Q_{in}$  は式 (7) のように定式化できる。

$$Q_{in} = \min\{x : U_{n+1}(x) - U_{n+1}(x+1) > R_{in}\} \quad (7)$$

また、式 (7) を利用すれば、各段階で発生する各料金水準の需要に対するサービス許容は、次の基準を適用することで決定可能であって、全体期待収益を最大化できる。

$n$  段階料金水準  $i$  需要のサービス許容条件：

$$0 \leq x \leq Q_{in} \quad (8)$$

## 4 数値実験

本研究で提示されたモデルの有効性を検証するために模擬実験を行う。模擬実験は、IP-電話サービス業の商品を対象とし、既存の資料を基盤として作成されたデータを用いる。模擬実験では、C言語を用いて Pentium IV-2GHz の PC で行われた。

### 4-1 仮定

- i) 料金水準：3種類の料金水準
- ii) 新規需要の発生は各料金水準に対して独立で一定である。
- iii) 解約及び割引は各料金水準に対して独立で一定である。

実験のためのシナリオは、料金水準、料金水準別キャンセル比率、料金水準別の需要発生分布を基準に分類する。総需要量は1,000と仮定しイベントの数は、1,200回と仮定する。正常料金の年間期待収益は、120,000円と仮定し、各料金割引率に対して同じ比率で期待収益が発生すると仮定する。そして、優秀顧客に対する料金割引率は正常料金の5%で、正常料金顧客に限って料金割引を適用すると仮定する。

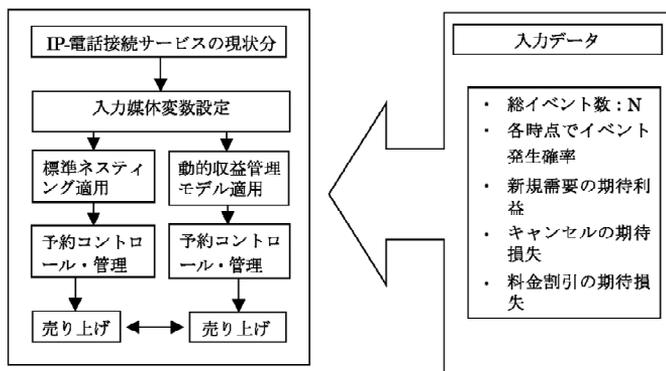


表4-1 料金割引率 (%)

料金水準	1	2	3
割引率	0	20	50

表4-2 キャンセル及び料金割引需要発生確率

区分	キャンセル発生確率			料金割引受容発生確率		
料金水準	1	2	3	1	2	3
比率 (%)	2	3	2	3	0	0

表4-3 模擬実験に対する媒体変数値

シナリオ	キャンセル			新規需要発生確率 (%)		
	1	2	3	1	2	3
1	70	50	40	40	24	16
2				56	16	8
3				32	24	24
4	70	60	40	40	24	16
5				56	16	8
6				32	24	24
7	70	70	70	40	24	16
8				56	16	8
9				32	24	24

各シナリオ別で作成された資料を用いて、単一料金体系、標準ネスティング方式と本研究で提示したモデルである動的管理方法に対するシミュレーションを行った。

表4-4 単一料金方法と動的管理方法の実験結果

シナリオ	方法	収益 (1000)	加入者数 (名)				売り上げ 増加率
			1	2	3	計	
1	動的管理	104,910	535	273	190	998	61.4
	単一料金	65,022	535	0	0	535	—
2	動的管理	114,030	741	183	74	998	27.1
	単一料金	89,741	741	0	0	741	—
3	動的管理	99,366	451	259	288	998	80.9
	単一料金	54,942	451	0	0	451	—
4	動的管理	104,600	535	273	190	998	60.9
	単一料金	65,022	535	0	0	535	—
5	動的管理	113,720	741	183	74	998	26.7
	単一料金	89,742	741	0	0	741	—
6	動的管理	99,056	451	259	288	998	80.3
	単一料金	54,942	451	0	0	451	—
7	動的管理	103,859	535	273	190	998	59.7
	単一料金	65,022	535	0	0	535	—

8	動的管理	112,979	741	183	74	998	25.9
	単一料金	89,742	741	0	0	741	—
9	動的管理	98,315	451	259	288	998	78.9
	単一料金	54,942	451	0	0	451	—

単一料金体系を採用した場合は、低い料金水準の需要を受容できないため、高い料金水準の需要が十分ある場合以外には効果的な方法ではない。表5-4の単一料金方法と動的管理方法の結果から、複数料金体系を採用した動的管理方法が最大80%以上の収益増加を期待できると考

表4-5 標準ネスティング方法と動的管理方法の実験結果

シナリオ	方法	収益 (1000)	加入者数 (名)				売り上げ 増加率
			1	2	3	計	
1	動的管理	104,910	535	273	190	998	4.17
	標準ネスティング	100,710	500	273	190	963	—
2	動的管理	114,030	741	183	74	998	4.51
	標準ネスティング	109,110	700	183	74	967	—
3	動的管理	99,366	451	259	288	998	6.56
	標準ネスティング	93,246	400	259	288	947	—
4	動的管理	104,600	535	273	190	998	4.18
	標準ネスティング	100,400	500	273	190	963	—
5	動的管理	113,720	741	183	74	998	4.52
	標準ネスティング	108,800	700	183	74	957	—
6	動的管理	99,056	451	259	288	998	6.59
	標準ネスティング	92,936	400	259	288	947	—
7	動的管理	103,859	535	273	190	998	4.21
	標準ネスティング	99,659	500	273	190	963	—
8	動的管理	112,979	741	183	74	998	4.55
	標準ネスティング	108,059	700	183	74	957	—
9	動的管理	98,315	451	259	288	998	6.64
	標準ネスティング	92,195	400	259	288	947	—

表4-5は、複数の料金水準を考慮する場合に対して、予め一定の比率で各料金水準別販売量を決定して、標準ネスティング方法による管理方法と動的管理方法の差を実験した結果である。結果から、既存の標準ネスティング方法と比べ、本研究の方法からの差は、4%–7%の収益増加効果が見られる。即ち、需要分布について各料金水準別に予め割り当てられた容量で需要を管理するより、最適化されたモデルによる、各意思決定時点の環境を考慮した動的管理方法の意思決定の方が、効率が良いと考えられる。

## 5 結論・今後の研究課題

収益管理概念は、ホテルおよび航空産業などで主に利用されてきたが、最近ではスポーツ、鉄道、医療産業など多様な分野へその適用範囲が拡大している。本研究では、このような消滅

性資産を扱うサービス産業へ適用される収益管理概念を、IP-電話サービス事業を中心としたインターネット・ビジネスへも適用することを目的としている。特に、IP-電話サービス事業で同一加入者に対して複数の料金水準を提案し、各料金水準に対して、適切な管理を通じて総収益を最大化するためのモデルを提案した。即ち、各料金水準別販売許容量を総収益が最大になるよう決定するマルコフ意思決定過程 (Markov Decision Process) モデルを提案した。このモデルは、Subramanian [2] などの研究で提案されたモデルを IP-電話サービスの特徴に合わせて修正・拡張したモデルであり、総収益が最大になる各料金水準別販売許容量決定条件を導出し、需要要求時点での該当料金水準の需要に対する加入許可あるいは棄却を決定できる基準を提示する。さらに、模擬実験によって、本研究で提案した、各意思決定時点の環境を考慮した動的管理方法の意思決定のモデルの有効性を確かめることができた。それによって、IP-電話サービスなど IP 関連のさまざまな事業は、消滅性資産を扱っている特徴を持っているため、既存の収益管理概念を拡張して適用できる分野であり、本研究を通じてその可能性が確認できたと思われる。

提案されたモデルの効率的な利用のために、メタ・ヒューリスティック方法を用いたモデルを提案しシミュレーションを行うことを今後の研究課題として残す。さらに、インターネット関連のさまざまな分野に研究の範囲を拡張し、将来的には有効にモデルが活用できることを期待している。

#### 引用・参考文献

- [ 1 ] B. Smith, J. Leimkuhler and R. Darrow, "Yield Management at American Airlines," *Interfaces*, Vol. 22, pp. 8-31 (1992).
- [ 2 ] J. Subramanian, S. Stidham Jr. and C. J. Lautenbacher, "Airline Yield Management with Overbooking, Cancellations, and No-Shows," *Transportation Science*, Vol. 33, pp. 147-167 (1999).
- [ 3 ] L. Weatherford and S. Bodily, "A Taxonomy and Research Overview of Perishable-Asset Revenue Management," *Operations Research*, Vol. 40, pp. 831-844 (1992).
- [ 4 ] P. P. Belobaba, "Airline Yield Management: An Overview of seat Inventory Control," *Transportation Science*, Vol. 29, pp. 441-459 (2000).
- [ 5 ] R. Curry, "Optimal seat Allocation with Fare Classes Nested by Origins and Destinations," *Transportation Science*, Vol. 18, pp. 91-101 (1990).
- [ 6 ] R. Nath, M. Akmanligil, K. Hjelm, T. Sakaguchi and M. Schultz, "Electronic Commerce and the Internet: Issues, Problems, and Prospectives," *International Journal of Information Management*, Vol. 18, pp. 91-101 (1998).
- [ 7 ] S. Bodily and L. Weatherford, "Perishable-Asset Revenue Management: Generic and Multiple-Price Yield Management with Diversion," *Omega*, Vol. 23, pp. 173-185 (1995).
- [ 8 ] M. K. Yoon, K. C. Choi, 「インターネット・ビジネスの展開方向」『経営研究』第 4 卷 1 号, 73-96 頁 (1997).