

# Subramanian モデルを用いた IP-電話サービス産業の 収益管理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 Subramanian[2] 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, Subramanian Model

## 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。

2章では、既存の収益管理概念の適用した分野の消滅性資産 (Perishable Asset) 特性と、収

---

\* 本研究においては文部科学省科学研究費補助金を受けた論文である。

益管理の概念、体系を辿る。3章では、航空事業で、多様な料金クラスを設け、各料金クラスの予約限量による航空事業の収益管理モデルを取り上げる。4章では、IP-電話サービスの収益管理モデルを構築する。5章では、シミュレーションを用いて、モデルの実用性を確認する。6章では結論及び今後の研究方向について述べる。

## 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、本研究の対象になる[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、予約を基盤としてのサービス産業は(図2-1)のように、収益管理の手順に従っている。すなわち、予想需要と競争事業の料金水準を考慮して、各料金水準に適切な供給量を決定する。予約基盤の産業のもっとも大きな顧客の特性は予約の後、キャンセルする、購入するなどしない行動(未搭乗, No-show)である。したがって、このような未搭乗の可能性を考慮

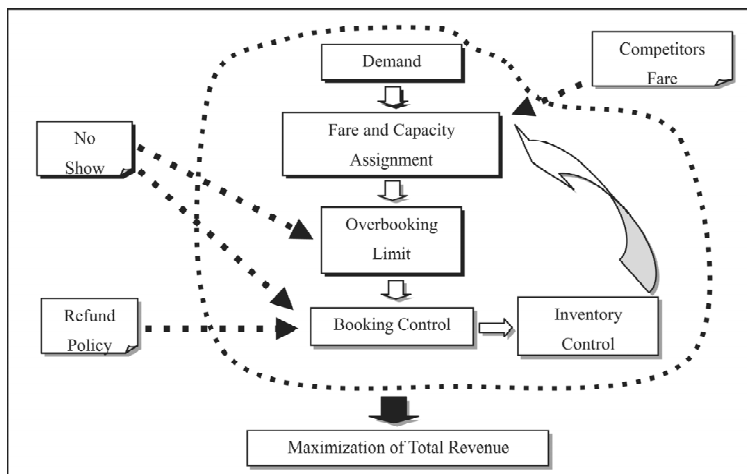


図2-1 予約基盤サービス産業の収益管理システム

して超過予約限界が設定される。超過予約限界を設定するために、キャンセル率、未搭乗率、返還政策、需要超過に伴うペナルティ費用などを考えて、決定しなければならない。

利用可能な提供用量を各料金水準別に適切に配分する (Capacity Assignment) のは、収益管理問題にとって最も重要な一環である。以前の研究では、主に航空会社、一部のホテルやレンタル会社を対象に研究が行われた。航空会社の状況分析を単純化するために、単一飛行区間 (Single Leg Flight) を主に考えて、研究が進められていたが、最近複数飛行区間に対する研究が徐々に拡大する傾向がある。また、航空会社が競争優位を確保するために、活発に行っている戦略的な収益配分問題に対する研究が拡大している。

### 3 航空事業の収益管理モデル

#### 3.1 航空事業の特性

航空事業は運送サービスを提供している事業である。即ち、航空会社が顧客のニーズに応じ、飛行機を利用して、顧客や荷物などを世界中のどこかへ運ぶことである。航空事業は予約基盤サービスであるため、以下表3-1に示すような特性を持っている。

表3-1 航空会社の収益管理の特性

区 分	航空会社 (予約基盤サービス)
サービス	座席容量
提供始点	予約後 $m$ 始点后
料金クラス	$m$ (普通/割引価格)
対象サービス	単一区間
	多重区間
増設単位	飛行機一台
消費者特性	予約、キャンセル、返金、未搭乗
販売促進手段	グレードアップ
収益管理概念	サービス提供前の収益管理を通じて収益の最大化
マーケティングの意思決定	料金水準別予約限界
	需要要求の予約統制

#### 3.2 航空事業の収益管理モデル

世界経済の発展につれ、さまざまな事業活動が世界各地で展開されつつある。このグローバル化のために、飛行機を利用する顧客は増える一方である。また、飛行機は早くて、安全というメリットを持ち、潜在顧客は多いので、航空産業は幅広く魅力的な市場だといえよう。しかし、航空事業の自由化に伴い、市場競争は激しくなっている。航空会社の収益管理モデルに関する研究が行われるようになってきているが、これまでの研究モデルは単純すぎるため、実際の適用まで至っていない場合が多い。

Subramanian[2] による収益モデルでは、単一の飛行区間で複数の料金クラスを有する飛行機の座席配分モデルを取り上げ、マルコフ意思決定過程 (Markov decision process) に基づいて、系統的に分析している。さらに、以前のモデルでは考えていなかった、キャンセル、未搭乗及び超過予約を許すモデルを考えており、より実際のモデルになっている。さらに、各料金ク

ラスの到着パターンを仮定しないので、モデルはほかの消滅性商品の収益管理問題にもよく適用できる。例えば、ホテル産業を含むサービス産業などがある。

Subramanian の収益管理モデルはダイナミック プログラミング (Dynamic programming) を用い、最も適切な予約政策、状態と時間に対する各料金クラスの予約限定量 (Booking limit) を決める。

航空事業では、需要管理のために、料金クラス、キャンセルなどの重要な要素を考える必要がある。これらの要素は上記の多様性を持っているが、需要管理のモデルでは効率的に考えるために、次のような仮定を設ける。

- ・料金クラスは  $m$  個に区分され、事前に与えられたと仮定して、各料金クラスはお互いに影響を及ぼさないと仮定する。
- ・各料金クラスによって、期待収益はキャンセル率、未搭乗などを考えて決める。
- ・各料金クラス別で発生する需要は、他の料金クラスの需要と独立的に発生する。
- ・各料金クラスで利用する顧客はキャンセル可能であるが、キャンセル率は他の料金クラスの料金、予約者数、及びキャンセル率と独立に発生する。
- ・各料金クラスは予約者数と独立的な関係を持っている。

本論文では、航空事業分野において、以上の仮定のもとで考える営業期間は  $n = N, N-1, \dots, 1, 0$  期間だと仮定するが、0 期間が飛行機の出発期間であるため、0 期間の収益を最大化する動的収益管理モデルを構築する。

航空事業の場合、需要管理の側面では特定時点で発生する状況としては、座席の料金クラス  $i$  に対して新規予約の発生、キャンセルの要求、あるいはどのような状況も発生しない場合のいずれかである。このような可能性が各時点で異なった形で現れるので、時点の変化による確率の値の変化を考えるため、マルコフ意思決定過程 (Markov Decision Process) モデルの適用が考えられる。

本節では現時点から一定期間までの計画期間を設定し、この間、発生する収益の最大化の実現できる収益モデルの開発を考える。

航空事業の需要管理のため、考えられるのはどの時点でも発生できる可能性は次のとおりである。

- i)  $n$  期間において、料金クラス  $i$  に対しての新規予約の発生
- ii)  $n$  期間において、料金クラス  $i$  に対してキャンセルの要求
- iii)  $n$  期間において、料金クラス  $i$  に対して何の状況も発生しない

以上の状況に対して発生する可能性は次のような確率で表せる

$p_{in}$  :  $n$  期間において、料金クラス  $i$  に対して、座席の新規予約発生の確率

$q_n(x)$  :  $n$  期間において、加入者が  $x$  の場合、キャンセルの確率

$p_{0n}(x)$  :  $n$  期間において、加入者が  $x$  の場合、何も発生しない確率

確率の定義により、 $x$  に対して

$$\sum_{i=1}^m p_{in} + q_n(x) + p_{0n}(x) = 1$$

$$n >= 1 \tag{1}$$

という数式が成立する。

座席の需要と関連してどの段階  $n$  でも発生できるのは一つの状況しかないと考えられる上に、 $N$  期間で座席の予約が発生しないため、各段階  $n$  に対して、 $x \leq N - n$  が成立する。しかも、各状況が発生する時点の一つの段階にし、動的計画方法の概念を適用することができる。即ち、航空事業で、 $n$  段階で考えられる発生状況は各料金クラスに対する新規需要、キャンセル、及びどんな状況も発生しないと定義することができる。従って、座席の需要と関連する変動は  $n$  段階での状況  $k$  が  $n - 1$  段階で新しい状況  $k'$  に変動する仮定が見られる。この場合、状況  $k$  と  $k'$  は相互独立的に仮定されたので、各段階での各状況が発生する確率は独立的に考えられる。このような動的計画問題の属性を持つ場合、 $n$  段階での総期待収益は  $n$  段階から  $n - 1$  段階に進むにつれ、発生する収益と  $n - 1$  段階での収益との合計で表せる。段階  $N$  から最終段階  $0$  まで順番に拡張することによって、最大収益が得られる。

動的需要管理モデルでは、一定期間で同一な料金需要が発生するのではなくお互いに別のよう、需要要求時点で座席と同時に一定期間（ $0$  期間）で持続的に収益が発生する。従って、 $n$  時点から一定期間まで発生する収益の期待値を計算するため、次のような記号を定義する。

$r_{in}$  :  $n$  期間において、クラス  $i$  にある座席の 1 個当たりの利益

$Y(x)$  :  $n$  期間においての搭乗者

$U_n(x)$  :  $n$  期間から  $0$  期間までの最大利益

$U_n(x)$  が  $n$  段階で料金クラス  $i$  の期待収益は、 $n - 1$  段階で新規需要による期待収益、解約による損失などの合計に定義し、次のように区分して表せる。

第一、 $n - 1$  時点で料金クラスに対して、新規需要が発生する場合：

(1) 需要が許容された場合では、 $r_{in} + U_{n-1}(x + 1)$  で、(2) 需要が拒否された場合では、 $U_{n-1}(x)$  で表せるが、この二つの値を比較し、大きい方を選択しなければならない。

第二、 $n - 1$  時点で料金クラス  $i$  に対して、解約が発生する場合：

現在予約者が 1 人減少したと仮定されたとき、 $U_{n-1}(x - 1)$  で表せる。

第三、 $n - 1$  時点で料金水準  $i$  に対して、何も発生しない場合：

$n$  段階から  $n - 1$  段階までなにも起こっていない状態であるため、 $U_{n-1}(x)$  で表せる。

以上の結果から  $U_n(x)$  の関数は次のような動的収益管理モデルで表せる。

$$U_n(x) = \sum_{i=1}^m p_{in} \max\{r_{in} + U_{n-1}(x + 1), U_{n-1}(x)\} + q_n(x)U_{n-1}(x - 1) + p_{0n}(x)U_{n-1}(x),$$

$$0 \leq x \leq N - n, n \geq 1, \quad (2)$$

$$U_0(x) = E[-\pi(Y(x))], 0 \leq x \leq N, \quad (3)$$

$\pi(\cdot)$  は  $0$  時点で予約者が  $x$  の場合に残った座席から得られる未来に追加する期待値を表す関数である。即ち、考える期間の最終時点でまだ予約されていない座席の未来価値を表すので、単位当たりの値は残っている座席と半比例関係を持つのが普通である。従って、 $U_0(\cdot)$  は非増加凹関数 (Non-increasing Concave) の特性を持つので、 $U_n(x) - U_n(x + 1)$  は  $x = 0, 1, \dots, N - n - 1$  の時にも減少しない (Non-decreasing) 特性を持つことがわかる。以上の結果が、各時点で発生する料金クラス  $i$  の新規需要に対する予約の許容若しくは拒否を決める基準に活用できる。各料金クラス別の最大予約許容量 (Booking limit) の基準が決定できる。この最大予約許容量を超えた場合、即ち超過予約 (Over-booking) した場合には、それなりの罰金を支払わなければならない。

それで、各料金クラス*i*に対して、*n*段階で発生した需要の許容、拒否による期待収益は次のように表現できる。

$$\begin{aligned} v_n(x, r) &= \max\{r + U_{n-1}(x+1), U_{n-1}(x)\} \\ &= \max\{r - (U_{n-1}(x) - U_{n-1}(x+1)), 0\} + U_{n-1}(x), \\ &0 \leq x \leq N - n, n \geq 1 \end{aligned} \quad (4)$$

従って、各料金クラス*i*で*n*段階の新規予約の許容による期待利益を最大化する条件は次のようである。

$$U_{n-1}(x) - U_{n-1}(x+1) > r_{in} \quad (5)$$

即ち、式(5)の条件を満たせば、全体の期待収益が最大になる。

式(5)は*n*時点での期待収益と*n*-1時点で1人の予約を受け取った期待収益の差、と*n*時点で料金クラス*i*に対する予約を受け取った場合に得る期待収益との比較を表したものである。即ち、*n*-1時点での期待収益の差が、*n*時点で許容による期待収益より小さい場合には、料金クラス*i*に対する予約を許容する。

また、式(5)は次のように拡張できる。

*n*時点で二つの料金クラス*i*と*j*に対して、次のような条件が満たす場合を考えよう。

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

この場合、料金クラス*i*の予約を拒否し、料金水準*j*の需要を許容すれば、全体の収益が最大になる。

ところが、 $v_{in}(x)$ は*x*の増加により減少しない或いは増加する関数であるので、*x*が一定値以下の場合には、新規予約を許容するが、これを超えた場合に、新規予約を許容しない方の期待利益が高いのを表している。

式(5)によって、*n*段階で料金クラス*i*の最大予約可能量、即ち予約限定量  $b_{in}$  (Booking limit) は式(7)によって決定できる。

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

式(7)を利用すれば、各段階で発生する各料金クラスに対する予約の許容及び拒否は、次のような基準に基づいて、簡単に決定できる。このような決定が全体の期待収益を最大化することができる。

従って、*n*段階で料金クラス*i*に対する予約を許容できる条件は下記の式である。

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

#### 4 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を構築するために、料金水準別の需要特性と需要発生形態を考えないとならない。本研究では各料金別に発生する需要が他の料金水準の加入者数と独

立性を仮定して問題を単純化する。即ち、各料金水準で発生する新規需要は個別料金水準の加入者数によって影響を受けるのではなく、全体の加入者数によって影響を受けると仮定する。また、既存の多くの研究で考えた静的収益モデルでは安い料金水準の需要が高い料金水準より先に発生するのを仮定した。

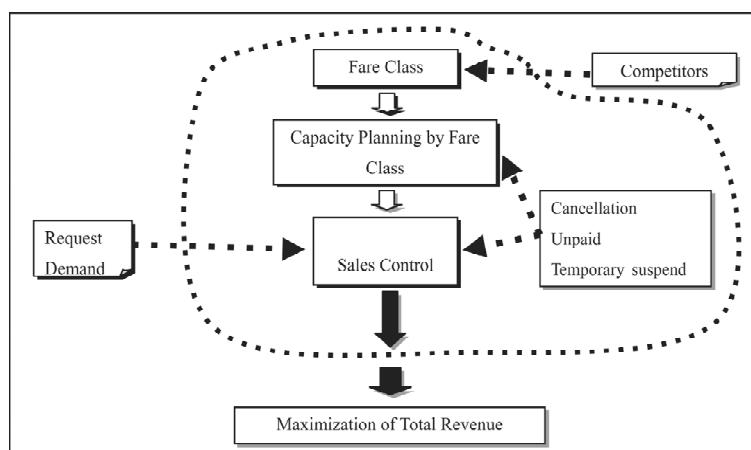


図4-1 IP-電話サービス業の収益管理システム

しかし、本研究では安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可能性を考える動的収益管理モデルを提案する。このような動的な需要が発生状況に対して、Subramanian など[2]が航空会社の収益モデルに提示したモデルを IP-電話サービスに転換して応用する。

IP-電話サービスでは、需要管理のために考える要素として料金水準、解約及び長期利用する優秀顧客に対しての料金割引などが重要な要素と認識されている。これらの要素は上記の多様性を持っているが、需要管理のモデルでは効率的に考えるために次のような仮定を設ける。

- ・料金水準は  $m$  個に分け、事前に与えられたと仮定して、料金水準の間では影響がないと仮定する。
- ・各料金水準によって期待収益は解約率、未納率などを考えて決める。
- ・各料金別で発生する需要は他の料金水準の需要と独立的に発生する。
- ・各料金水準で利用する顧客は解約可能であるが、解約率は他の料金水準の料金と加入者数、また解約率と独立に発生する。この場合、解約による損失は期待損失と考える。
- ・各料金水準で優秀顧客の場合、料金割引の優待が受けられる。一度、料金割引を受けた顧客は解約までに料金割引が継続される。各料金水準別の割引は加入者数と独立的な関係を持っている。

考える事業期間は  $T$  期間と仮定する。

本研究では、IP-電話サービス分野において、以上の仮定のもとで  $T$  期間中、収益を最大化する動的収益管理モデルを開発する。

IP-電話サービスの場合、各時点で発生する状況としては、新規需要の発生、解約、料金割引の要求、あるいはどのような状況も発生しない場合のいずれかである。このような可能性が各時点で異なった形で現れるので、時点の変化による確率の値の変化を考えるマルコフ意思決定

表4-1 IP-電話サービス業の収益管理システム

	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

過程 (Markov Decision Process) モデルの適用が考えられる。

本節では現時点から一定期間までの計画期間を設定し、この間で発生する収益の最大化を実現できる収益モデルの開発を考える。

IP-電話サービスの需要管理のため、考えられるのはどの時点でも発生できる可能性は次のとおりである。

- i) 料金水準  $i$  に対しての新規需要の発生
- ii) 料金水準  $i$  に対して需要の解約の要求
- iii) 料金水準  $i$  に対して利用者の料金割引の要求
- iv) 状況が発生しない

以上の状況に対して、発生する可能性は次のような確率で表せる。

$p_{in}$  :  $n$  段階の時点で料金水準  $i$  に対して新規需要の発生確率

$q_{in}(x)$  :  $n$  段階の時点で加入者が  $x$  の場合、料金水準  $i$  に対して解約の確率

$r_{in}(x)$  :  $n$  段階の時点で加入者が  $x$  の場合、料金水準  $i$  に対して料金割引の確率

$O_n(x)$  :  $n$  段階の時点で加入者が  $x$  の場合、何も発生しない確率

確率の定義によって各段階  $n$  に対して、 $\sum_{i=1}^m (p_{in} + q_{in}(x) + r_{in}(x) + O_n(x)) = 1$  が成立する。モデルを単純化するために、解約確率及び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。

$$q_{in}(x) = q_i(x), r_{in}(x) = r_i(x) \quad \forall i, n \quad (9)$$

( $q_{in}(x)$  と  $r_{in}(x)$ ) は加入者が  $x$  の場合料金水準  $i$  の解約率と料金割引確率)

IP-電話サービスの需要と関連してどの時点でも発生できるのは一つの状況しかないと考えられる。各状況が発生する時点の一つの段階にし、動的計画方法の概念を適用することができる。即ち、IP-電話サービスで、 $n$  段階で考えられる状況は各料金水準の新規需要、各料金水準の解約要求、各料金水準での料金割引要求、及びどんな状況も発生しないと定義することができる。従って、IP-電話サービスの需要と関連する変動は  $n$  段階での状況  $k$  が  $n + 1$  段階で新しい状況



$k'$  に変動する仮定に見られる。この場合、状況  $k$  と  $k'$  は相互独立的に仮定したので、各段階での各状況が発生する確率は独立的に考えられる。このような動的計画問題の属性を持つ場合、 $n$  段階での総期待収益は  $n$  段階から  $n+1$  段階に進むにつれて、発生する収益と  $n+1$  段階での総期待収益との合計で表せる。段階を 0 から最終段階まで順番に拡張するによって、最大収益が得られる。

動的需要管理モデルでは、一定期間同一の料金需要が発生するのではなく、お互いに別のよ  
うに、需要要求時点でサービスの提供と同時に一定期間 ( $T$  期間) で持続的に収益が発生する。  
従って、 $n$  時点から一定期間の中で発生する収益の期待値を計算するために、次のような記号  
を定義する。

$R_{in}$  : 料金水準  $i$  の需要に対して、 $n$  時点から  $T$  期間までの期待収益。料金水準の需要  
が混合して発生すると考える。また、航空会社の需要管理モデルと異なって、  
 $\delta_{in}$  と  $g_{in}$  が提案される。

$\delta_{in}$  : 料金水準  $i$  の需要に対して、 $n$  時点で解約が発生する場合  $T$  期間までの期待収益  
の減少。

$g_{in}$  : 料金水準  $i$  の需要に対して、 $n$  時点で料金割引が適用する場合  $T$  期間までの期待  
収益減少。

$Q$  : サーバーの最大収容能力。

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

IP-電話サービスでは新規需要、解約に伴う期待収益及び期待損失は航空会社などの予約基盤  
商品の販売と異なる。即ち、予約基盤商品は予約が許容された場合でも最終的に商品が提供さ  
れた時点からこそ収益が発生すると予想できる。しかし、IP-電話サービスのような会員基盤商  
品は予約時点と商品販売時点が同時に発生するとともに、一定金額の加入費による収益も発生  
する。また、毎月に会費としての一定金額の使用料金が支払われるので、一定の利用期間を設  
定し、この期間で発生する使用料金と加入費が期待収益になる。従って、会員が解約する場  
合には、事前に支払われた加入費の一部が返還金額と、残っている利用期間の使用料金は、解  
約によって期待損失になる。

$U_n(x)$  は  $n$  時点で発生する各料金水準に対して、需要の許容による期待収益、解約による損  
失、及び優秀顧客の料金割引による損失などの合計に定義して次のように分けて表す。

第一、 $n$  時点に  $i$  の料金水準に対して、新規需要が発生する場合：

この場合、期待収益は新規需要の許容及び拒否によって、次のように計算できる。

$$U_n(x) = \begin{cases} U_{n+1}(x+1) + R_{in} & \text{料金水準 } i \\ U_{n+1}(x) & \text{料金水準 } i \text{ の需要を拒否} \end{cases}$$

従って、 $U_n(x)$  は新規需要の許容、拒否による期待収益を比較して、もっと大きい値を選択し  
ないといけない。

第二、 $n$  時点で料金水準  $i$  に対して、解約が発生する場合：

この場合、加入者が一名減少したと仮定すれば、減少した一名の加入者から期待損失が発生す  
る。即ち、 $U_n(x) = U_{n+1}(x-1)\delta_{in}$  という関係式で表せる。

第三、 $n$  時点で料金水準  $i$  に対して、料金割引が発生する場合：

この場合には加入者の数にかかわらず、一名の料金調整から期待収益が減少する。このような

関係式は  $U_n(x) = U_{n+1}(x) - g_m$  で表せる.

以上の結果から  $U_n(x)$  の関数は次のような動的収益管理モデルで表せる.

$$U_n(x) = \sum_{i=1}^m \{p_{in} \max\{R_m + U_{n+1}(x+1), U_{n+1}(x)\} + q_i(x)(-\delta_m + U_{n+1}(x-1)) + r_i(x)(-g_m + U_{n+1}(x))\} + O_n(x)U_{n+1}(x), \quad (10)$$

$$0 \leq x \leq Q \quad n \geq 1.$$

$$U_T(x) = E[\pi(x)], \quad x = 0, \dots, Q. \quad (11)$$

$\pi(x)$  は  $T$  時点で加入者が  $x$  の場合に残った余裕容量から得られる未来に追加する期待値を表す関数である. 即ち, 考える期間の最終時点でまだ販売されていない余裕容量の将来価値を表すので, 単位当たりの値は残っている余裕容量と反比例関係を持つのが普通である. 従って,  $U_T(x)$  は  $x$  の増加により減少しない, 或いは増加する非減少凸関数 (Non-increasing Convex) の特性を持つ[1]と仮定すると (10) から  $n < T$  の  $U_n(x)$  も非減少凸関数の特性を持つので,  $U_n(x) - U_n(x+1)$  も  $x$  の増加により減少しない (Non-decreasing) 特性を持つ[10]. 以上の結果を利用すると, 各時点で料金水準  $i$  の新規需要に対するサービスの許容か拒否かを決定する基準に活用できる. 各料金水準別の最大販売許容量の基準を決定できる.

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, 拒否による期待収益は次のように表現できる.

$$\begin{aligned} v_{in} &= \max\{R_m + U_{n+1}(x+1), U_{n+1}(x)\} \\ &= \max\{R_m - (U_{n+1}(x) - U_{n+1}(x+1)), 0\} + U_{n+1}(x), \quad x = 0, 1, \dots, Q \end{aligned} \quad (12)$$

従って, 各料金水準  $i$  に対して,  $n$  段階での期待利益を最大化する条件は次のようである.

$$U_{n+1}(x) - U_{n+1}(x+1) \leq R_m \quad (13)$$

即ち, 式 (13) の条件を満たす場合, 全体の期待収益が最大化になる.

式 (13) の意味は  $n$  時点で料金水準  $i$  に対する新規需要を許容する場合の期待収益と許容しない場合の期待収益の差と,  $n$  時点の料金水準  $i$  の許容による期待収益との比較を表したものである. 即ち,  $n+1$  時点での期待収益の差が  $n$  時点での許容による期待収益より小さい場合には, 料金水準  $i$  の需要を許容する.

$v_{in}(x)$  は  $x$  の増加によって, 減少しない或いは増加する関数であるので,  $x$  が一定値以下の時, 新規加入を許容するのがこれ以上の場合, 新規需要の加入を許容しないことによって, 期待利益が増加するのを表している.

式 (6) は次のように拡張して, 適用できる. 即ち,  $n$  時点で二つの料金水準  $i$  と  $j$  に対して次のような条件を満たす場合を考えよう.

$$R_m < U_{n+1}(x) - U_{n+1}(x+1) \leq R_j \quad (14)$$

この場合, 料金水準  $i$  に対する新規需要を拒否して, 料金水準  $j$  に対する新規需要を許容すると, 全体の収益が最大化できる.

式 (13) を利用すれば,  $n$  段階で料金水準  $i$  の許容限量  $Q_m$  は式 (15) に決定できる.

$$Q_m = \min\{x : U_{n+1}(x) - U_{n+1}(x+1) > R_m\} \quad (15)$$

式 (15) を利用すれば、各段階で発生する各料金水準の需要に対して、サービス許容か拒否かは次のような基準が適用するので、簡単に決定できる。このような決定が全体の期待収益を最大化することができる。

$$n \text{ 段階で料金水準 } i \text{ の需要のサービスを許容できる条件 : } 0 \leq x < Q_m \quad (16)$$

式 (10) は予約基盤商品に対する Subramanian など[2]の研究を IP-電話サービスに拡張したものである。即ち、予約基盤商品で考えた超過予約、予約拒否などを除いた上に、長期利用する優秀顧客に対する料金割引が追加された。式 (10) に対して、各料金水準別の需要管理に活用するための式 (15) と (16) は Subramanian など[2]の研究と概念的に同一であることが分かる。

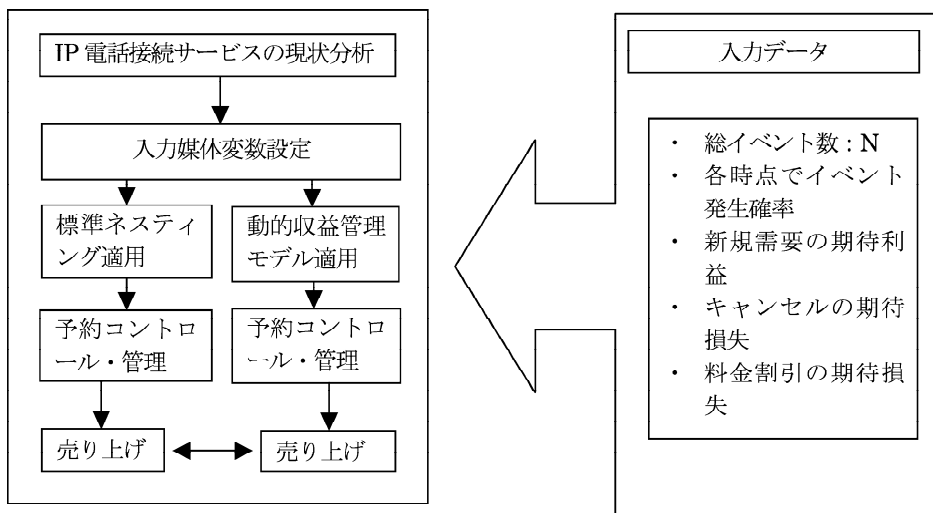
## 5 シミュレーション及び分析

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。模擬実験は、Microsoft Excel を用いて行われた。

シミュレーションをわかりやすくするために、サーバーの容量を小さくし、 $\delta_m$  (解約による期待損失) と  $g_m$  (割引による期待損失) をゼロにする。

これに加えて本研究で提案したモデルを適用するために、次のような仮定をした。

- i) プロバイダーを二種類の会員類型、三種類の会員類型及び四種類の会員類型に分けて、収益が料金類型の多少及び割引率の大小に影響されるのを見るため、各プロバイダーには各々の利用制約があると仮定した。
- ii) 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た。
- iii) 各料金水準別に対して、キャンセル及び優秀顧客に対する料金割引の発生は独立であると仮定した。



【Simulation 1】 ある IP-電話サービスのプロバイダーに会員類型は一般会員  $R_1=6$  があり，サー  
バーの容量は  $C=30$  である．変数  $p_n, q_n$  は表5-1で表わす．

表5-1

Parameters	Period $n$				
	1-6	7-11	12-19	20-25	26-29
$p_n$	0.73	0.69	0.54	0.6	0.56
$q_n$	0.078	0.052	0.035	0.021	0.002

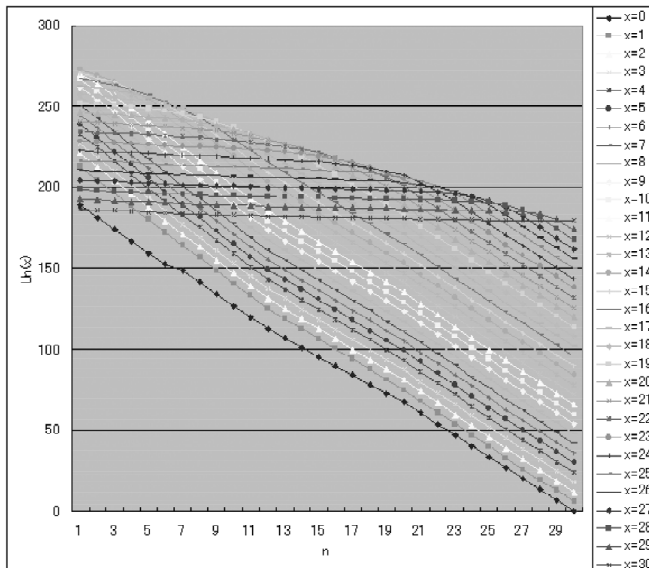


図5-1 各加入者数  $x$  に対して、 $U_n(x)$  (期待収益) 対  $n$  (段階) のグラフ

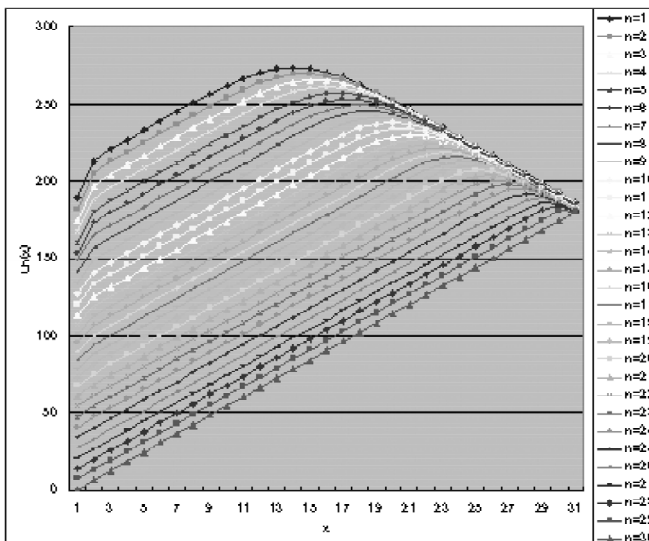


図5-2 各時点  $n$  に対して、 $U_n(x)$  (期待収益) 対  $x$  (加入者数) のグラフ

【Simulation 2】 ある IP-電話サービスのプロバイダーに会員類型は一般会員  $R_1=6$ , コップ会員  $R_2=20$ , 二つあり, サーバーの容量は  $C=30$  である. 変数  $p_{in}$ ,  $i=1, 2$ ,  $q_n$  と  $r_n$  は表5-2で表わす.

表5-2

Parameters	Period $n$				
	1-6	7-11	12-19	20-25	26-29
$p_{1n}$		0.43	0.33	0.26	0.15
$p_{2n}$	0.2	0.26	0.21	0.35	0.41
$q_n$	0.078	0.052	0.035	0.021	0.002
$r_{1n}$	0	0	0	0	0
$r_{2n}$	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03

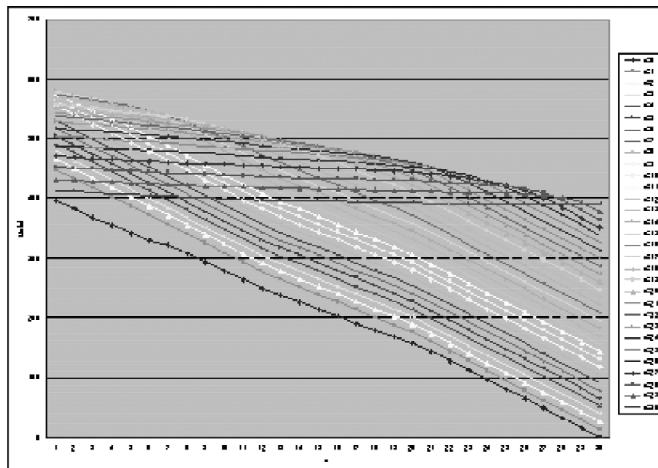


図5-3 各加入者数  $x$  に対して、 $U_n(x)$  (期待収益) 対  $n$  (段階) のグラフ

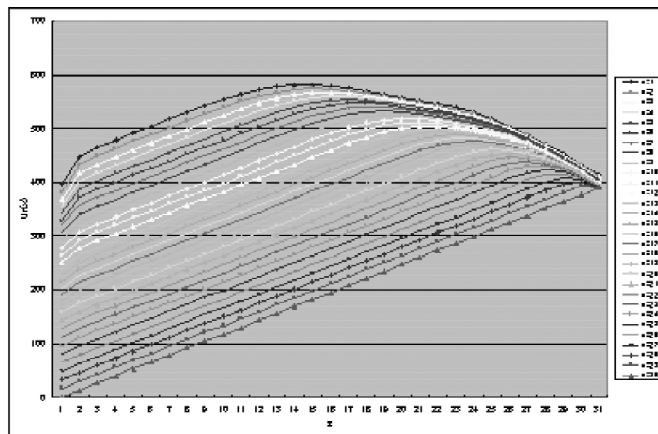


図5-4 各時点  $n$  に対して、 $U_n(x)$  (期待収益) 対  $x$  (加入者数) のグラフ

【Simulation 3】 ある IP-電話サービスのプロバイダーに会員類型は一般会員  $R_1=6$ , コップ会員  $R_2=20$ , シルバー会員  $R_3=30$ , 三つあり, サーバーの容量は  $C=30$  である. 変数  $p_{in}$ ,  $i=1, 2, 3$ ,  $q_n$  と  $r_n$  は表5-3で表わす.

表5-3

Parameters	Period $n$				
	1-6	7-11	12-19	20-25	26-29
$p_{1n}$	0.32	0.25	0.19	0.15	0.07
$p_{2n}$	0.21	0.18	0.14	0.1	0.08
$p_{3n}$	0.2	0.26	0.21	0.35	0.41
$q_n$	0.078	0.052	0.035	0.021	0.002
$r_{1n}$	0	0	0	0	0
$r_{2n}$	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
$r_{3n}$	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06

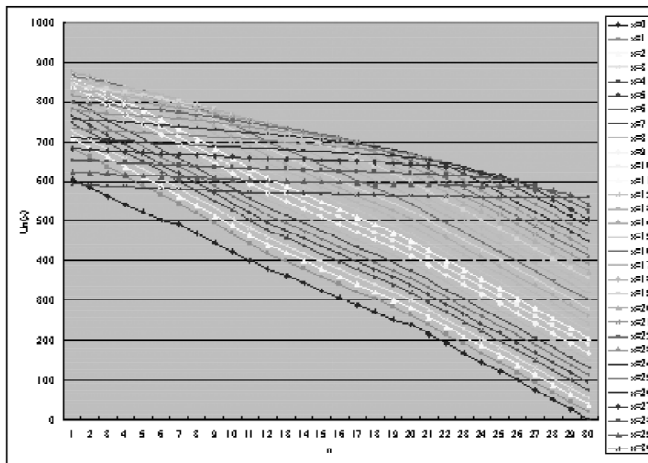


図5-5 各加入者数  $x$  に対して、 $U_n(x)$  (期待収益) 対  $n$  (段階) のグラフ

【Simulation 4】 ある IP-電話サービスのプロバイダーに会員類型は一般会員  $R_1=6$ , コップ会員  $R_2=20$ , シルバー会員  $R_3=30$ , ゴールド会員  $R_4=50$ , 四つあり, サーバーの容量は  $C=30$  である.

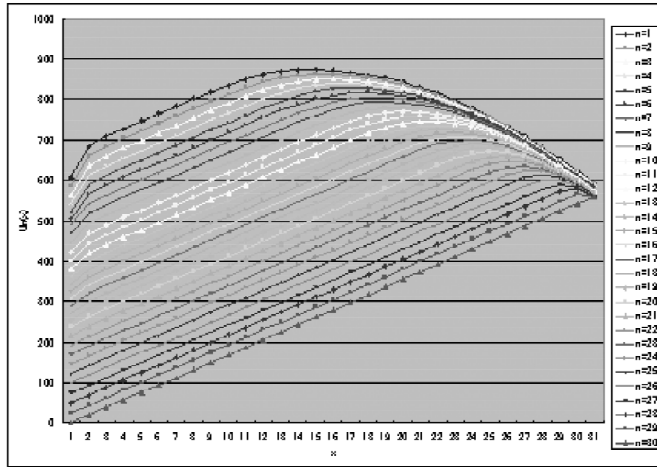


図5-6 各時点  $n$  に対して、 $U_n(x)$  (期待収益) 対  $x$  (加入者数) のグラフ

変数  $p_{in}$ ,  $i = 1, 2$ ,  $q_n$  と  $r_n$  は表5-4で表わす.

表5-4

Parameters	Period $n$				
	1-6	7-11	12-19	20-25	26-29
$p_{1n}$	0.32	0.25	0.19	0.15	0.07
$p_{2n}$	0.21	0.18	0.14	0.1	0.08
$p_{3n}$	0.12	0.15	0.11	0.17	0.22
$p_{4n}$	0.08	0.11	0.1	0.18	0.19
$q_n$	0.078	0.052	0.035	0.021	0.002
$r_{1n}$	0	0	0	0	0
$r_{2n}$	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
$r_{3n}$	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
$r_{4n}$	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

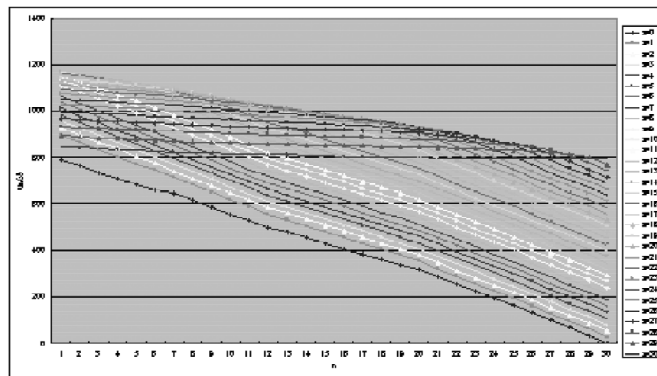


図5-7 各加入者数  $x$  に対して、 $U_n(x)$  (期待収益) 対  $n$  (段階) のグラフ

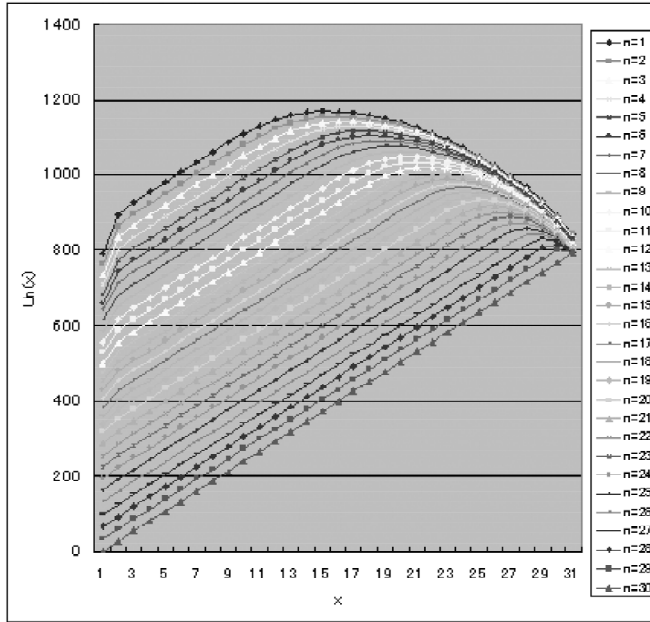


図5-8 各時点  $n$  に対して、 $U_n(x)$  (期待収益) 対  $x$  (加入者数) のグラフ

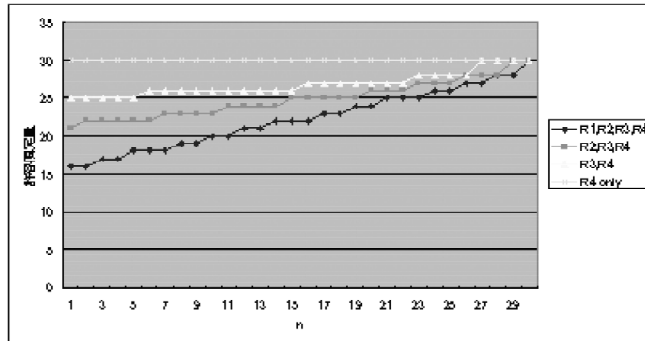


図5-9 段階別許容限量の範囲

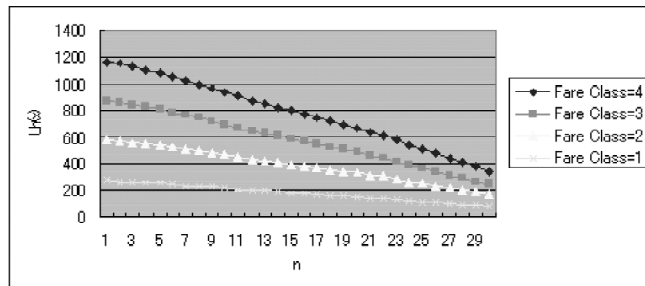


図5-10 同じく  $x = 13$  の時料金水準の多少により期待収益の変化



## 6 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 Perspectives," *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 ] McKnight, L.W. and Leide, B. (1998) "Internet Telephony: Costs, Pricing, and Policy," *Telecommunications Policy* 22.7: 555-569.
- [ 9 ] Raina, J., Fildes, R. and Day, K. (1998) "Forecasting Internet Telephony," *OR Insight* 11.4: 11-21.
- [10] M. G. YOON And K. C. CHOI, "Expend Direction of Internet Business," *Management Research*, Vol. 4, 1, 73-96 (1997)