

# ライフサイクル累積販売数予測による 生産計画数決定法の研究

“Production Planning Model Based on Lifecycle Accumulated Sales Forecasting”

田中謙司

Kenji Tanaka

<sup>1</sup> 東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻

Department of Systems Innovation, Graduate School of Engineering, The University of Tokyo

**Abstract:** Though forecasting of the future demand is an essential part of production planning and operation, manufactures are tend to depend on not the numerical approach but the experts' knowledge. There are, therefore, often the cases that misleading forecast cause serious overstock goods and lose business profit. It is important for manufactures to obtain a reliable production planning and manage their business risk between forecast and sales result. This paper proposes a dynamic re-production decision system based on accumulated product's lifecycle sales forecast. It gives us proper timing and volume for reproduction just after products release. By measuring reproduction risk, it also deals with products portfolio risk management. As a case study we applied this model to book publishing planning and verified how it works.

## 1. はじめに

21世紀に入り消費財市場は、高度成長期の大量消費から、消費者ニーズの多様化が進化した少量多品種へと変化した。デジタル家電など多くのメーカーは、次々と新製品を投入して市場を刺激することで市場変化に適応し、製品ライフサイクルは大幅に短縮された。販売期間が短くなったことで、販売総数に対する過剰在庫数の割合は大きくなり、その最終的な製品在庫廃棄率が、製品のライフサイクル収益を大きく左右するようになった。その廃棄率に決定的な影響を与えているのは需要予測に基づく生産計画である。生産過剰になれば、最終廃棄コストが収益を下げ、過少になれば店頭在庫不足による機会損失を発生する。そのような業界における生産計画数およびそのタイミングの決定は収益管理上極めて重要な事項である。Agrawal and Schorling[1]は、計画決定における需要予測の精度が最終的な収益に大きく影響することを示した。その重要性とは対照的にその予測の困難さと精度の低さによってこれまで予測を用いた実用的な収益管理はなされてこなかった。Mentzer and Bienstock[2], Chu and Zhang[3]が指摘しているように既存の確立した予測法は線形に限定されるため、不安定かつ非線形な挙動を示す発売直後の新製品の予測は困難である。これに対してニューラルネットワークによる予測法などが研究されてきたものの、予測精度が安定しない、設定準備がなどでは普及するまでには至っていない(Callen et al[4], Kirby et al[5])。したがって、生産計画数の変更は、

担当者の「経験と勘」に基づく決定に頼ってきているのが現状である。そのため在庫廃棄率は、デジタル家電業界や書籍流通業界のように販売総数の4割以上に達する場合も存在し、業界全体に深刻な影響を及ぼしている。

このようにメーカーにとって増産の決定は売上を見込んだ「賭け」であるため、リスクが発生する。生産すればするほど機会損失は減少し販売数も増加するが、一方で、販売効率は落ち在庫廃棄リスクが増加する。これらリスクの収益に対する重要性とは対照的に定量評価は提案されてこなかった。少量多品種の傾向はますます加速しており、企業の財務余力の限界から全方位的に資源を振り分けて増産することは不可能である。したがって増産リスクを複数製品でポートフォリオリスク管理を行い、有望な製品を優先して増産することは益々必要とされている。

本研究では、初期実績に基づいたライフサイクルの累積販売需要を予測する手法とその期待予測誤差分布を用いて、増産計画数決定によって発生するリスク、リターンを定量化し、生産計画数を決定する手法を提案する。少量多品種の典型的な業界の例として、年間80万アイテムが稼働し、在庫廃棄率40%にも上る書籍流通業界を対象として、提案する手法の実証を行いその手法の有効性を検証する。なお、本研究で用いる予測法は、田中[6]、宮田・田中[7][8]が提唱した累積販売予測法を用いる。

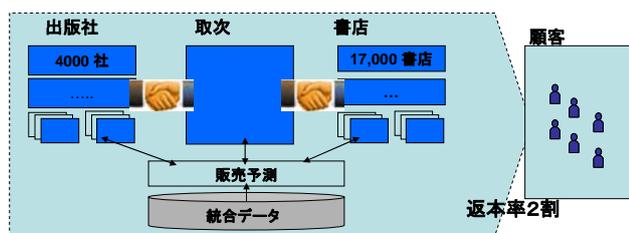


図1 BBIプロジェクトコンセプト

本研究はBBI( Book Business Innovation )プロジェクトの一環として行われた。BBI プロジェクトとは返品率 40%に代表される書籍流通の非効率を業界全体最適の観点から効率化し、業界すべてのプレイヤーの利益向上を図る試みとして、東京大学、書籍卸会社、およびエンジニアリング会社が共同で進めているものである(図1)。本研究は、書籍流通においてはメーカーに当たる出版社支援システムの一部として開発された。

## 2. 本研究の提案するモデル

### 2.1 生産数決定手法の概要

本研究で提案する生産計画数決定手法のシステムを図2に示す。まず、事前準備として過去実績データから予測に必要な係数表と予測を適用した際の期待誤差分布表を準備する。

次に、全体の製品群の中から生産計画を策定したい対象製品を抽出する。抽出した製品の販売実績から、販売実績の更新データに基づき、長期、および短期の需要予測を行う。長期予測とは製品ライフサイクル期間、つまり主要販売期間における累積販売数予測を指す。一方で、短期予測とは、そのタイミングで増産しない場合に発生する機会損失期間の販売数予測を指す。同時に期待予測誤差分布に基づき増産数を上下させた場合のリスクを感度分析する。以上のプロセスを他の製品にも適応する。

さらに、製品毎のリスク評価を複数製品のポートフォリオで管理するための総合評価を行う。各製品のうち、リスク対リターンをプロットし、それらに基づきながら増産する決定を行う。

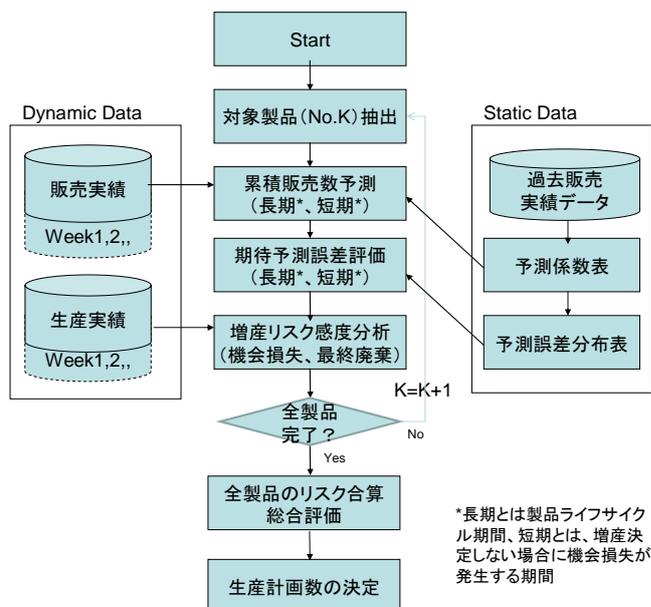


図2 累積販売数予測に基づく生産計画数決定手法

### 2.3 累積販売予測法

BBIプロジェクトにおいて田中、宮田・田中らは、同じ販売傾向をもつ製品グループでは、販売後の日数の2点間の累積販売数は相関が高いことを用いてNM予測法を開発した。本研究では累積販売予測法を用い、N週時点のM週までの予測販売数を式(1)(2)(3)のように表す。

$$x_{(N,M)} = X_M - X_N = \mu_N \cdot (NM_{(group,N,M)} - 1) \cdot R_{(N)} \quad (1)$$

$$\mu_N = Average\left(\frac{x_N}{r_N}, \frac{x_{N-1}}{r_{N-1}}, \frac{x_{N-2}}{r_{N-2}}\right) \quad (2)$$

$$NM_{(group,N,M)} = \frac{n(\sum X_N \cdot X_M) - (\sum X_N)(\sum X_M)}{n(\sum (X_N^2) - (\sum X_N)^2)} \quad (3)$$

ここで、

$x_{(M)}$ : 発売後 M 週時点の累積販売数予測

$R_{(N)}$ : 発売後 N 週時点の累積販売数実績

$NM_{(group,N,M)}$ : 予測対象製品が属する group の N 週から M 週を予測するための係数

$x_{(N)}$ : 発売後 N-1 週時点における N 週販売数予測

$r_{(N)}$ : N 週販売数実績、 $x_{(N,M)} = X_M - X_N$  は N 週から M 週までの販売数予測

$\mu_N$ : 第 N 週における修正係数

を表す。

この予測法を用いることで、発売直後の販売実績から半年後の累積販売予測が可能となった。一般的に利用されている週次や月次予測を延長する予測法は小さな誤差が拡大されて生産計画のへ反映されてしまうが、累積販売数を予測する手法により、長期

となるライフサイクルの予測が可能となる。表1にNM 予測法による誤差分布推移を示す。1 週間程度で誤差が収束する。

表1. 発売後 20 週までの誤差確率分布推移(書籍ビジネスジャンルの例)

±3σ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
-100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
-80%	6%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
-60%	11%	1%	1%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
-40%	17%	3%	3%	3%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
-30%	21%	5%	5%	5%	5%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
-20%	25%	8%	8%	8%	8%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%
-15%	28%	10%	10%	10%	10%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%
-10%	30%	11%	11%	11%	11%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
-5%	33%	13%	13%	13%	13%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%
-3%	34%	14%	14%	14%	14%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%
0%	35%	15%	15%	15%	15%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%
3%	36%	16%	16%	16%	16%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
5%	37%	17%	17%	17%	17%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%
10%	38%	18%	18%	18%	18%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%
15%	39%	19%	19%	19%	19%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%
20%	40%	20%	20%	20%	20%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%
30%	41%	21%	21%	21%	21%	16%	16%	16%	16%	16%	16%	16%	16%	16%	16%	16%	16%	16%	16%	16%
40%	42%	22%	22%	22%	22%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%
50%	43%	23%	23%	23%	23%	18%	18%	18%	18%	18%	18%	18%	18%	18%	18%	18%	18%	18%	18%	18%
60%	44%	24%	24%	24%	24%	19%	19%	19%	19%	19%	19%	19%	19%	19%	19%	19%	19%	19%	19%	19%
70%	45%	25%	25%	25%	25%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
80%	46%	26%	26%	26%	26%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%
90%	47%	27%	27%	27%	27%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%
100%	48%	28%	28%	28%	28%	23%	23%	23%	23%	23%	23%	23%	23%	23%	23%	23%	23%	23%	23%	23%
±10%	24%	38%	34%	55%	76%	83%	82%	90%	89%	94%	97%	94%	95%	94%	94%	96%	97%	97%	97%	96%
±30%	55%	67%	76%	84%	94%	97%	97%	99%	97%	99%	100%	99%	100%	100%	99%	100%	99%	99%	99%	99%

精度が高くなっているものの、予測には誤差が生じている。2 製品に当初同等の販売可能性があったとしても、その後の販売方法で結果が触れるためである。本研究では、過去データの誤差分布を予測分布とし、修正 NM 法の前年度の予測実績の誤差分布から、増産リスクを定量化する。

### 2.4 増産リスクと期待リターンの定量化

増産数決定することで発生する増産リスクは、2 つ存在する。図3に示す 機会損失リスクと 最終返品リスクである。機会損失リスクとは、このタイミング以後の増産意思決定では需要に増加対応できない期間の機会損失リスクである。最終廃棄リスクとは、その増産によって、最終的に売残る返品リスク機会損失リスクと、最終返品リスクである。

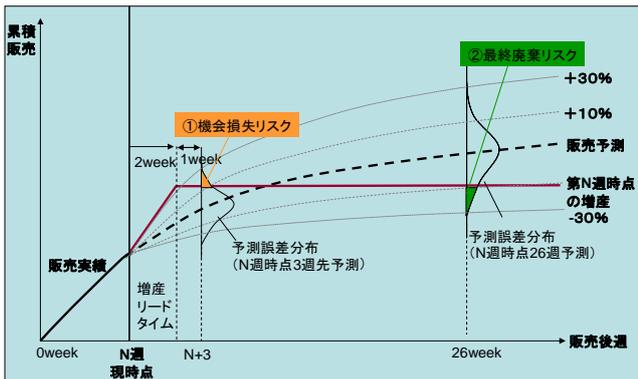


図3 機会損失リスクと最終廃棄リスク

発売後第 N 週で  $X_N$  個の累積送品である製品で、 $X_N$  個の増産を決定することによる機会損失リスクは、表1の予測確率分布と1 個当粗利を用いて式(4)(5)で表わす。

$$Risk\_ChanceLoss(\Delta X_N) = Number\_ChanceLoss(X) \cdot Gross\ ProfitperItem \quad (4)$$

$$Number\_ChanceLoss(\Delta X_N) = \int_{X+\Delta X}^{\infty} P_{Ntonweek, NMgroup}(x) \cdot |x - x_{N+3}| dx \quad (5)$$

$GrossProfitperItem$ : 対象製品 1 個当りの出版社粗利

$P_{Ntonweek, NMgroup}(x)$ : 累積  $x$  個販売を変数とする対象 NM グループ販売後 N 週時点における n 週先予測の確率分布

$Number\_ChanceLoss$ : 確率分布から求められる期待機会損失数

$X_{N+n}$ : N 週時点における n 週先累積販売予測数

式(5)において  $X_{N+n}$  と  $x$  との差を割合で示したを用いることで、機会損失は、現在週 N の確率密度分布  $P(\theta)$  で式(6)のように表すことができる。

$$Number\_ChanceLoss(\Delta X_N) = x_{N+n} \int_{\theta_0}^{\infty} P_{Ntonweek, NMgroup}(\theta) \cdot |\theta| d\theta \quad (6)$$

ここで、 $\theta = \frac{|x - x_{N+n}|}{x_{N+n}}$ 、 $\theta_0 = \frac{|X_N + X_{N+3} - x_{N+3}|}{x_{N+3}}$  である

同様に、最終返品リスクも定量化する。発売後第 N 週で  $X_N$  個の累積送品である場合に、 $X_N$  個の増産を決定する最終返品リスクは式(7)(8)のように定量化される。

$$Risk\_Item\ Return(\Delta X_N) = Number\_Item\ Return(\Delta X_N) \cdot CostperItem \quad (7)$$

ここで  $CostperItem$  は対象製品 1 個当の増産コストを表す。期待最終返品数  $Number\_Item\ Return(X_N)$  は式(8)で定義される。

$$Number\_Item\ Return(\Delta X_N) = \int_{-\infty}^{X_N + \Delta X_{N, Last}} P_{NtoLast, NMgroup}(x) \cdot |x_{N, Last} - x| dx \quad (8)$$

$$= x_{N, Last} \cdot \int_{-\infty}^{\theta_0} P_{NtoLast, NMgroup}(\theta) \cdot |\theta| d\theta$$

ただし、 $P_{NtoLast, NMgroup}(x)$  は累積  $x$  個販売を変数とする対象 NM グループ販売後 N 週時点における発売後主要販売期間後 (Last) の予測の確率分布関数、 $X_{N, Last}$  は N 週時点の発売後 Last 時点の予測を示す。

一方、期待リターン (期待粗利) は、発売後第 N 週時点で  $X$  個の増産決定に伴うことで、送品数上限か、販売予測数期待値に基づいて式(9)で求める。

$$Pr ofit\_Item(X) = MIN(X_N + \Delta X_N, x_{N, Last}) \cdot Gross\ ProfitperItem \quad (9)$$

以上により、増産に伴って発生する 2 つのリスクおよび、期待利益増産リスクと利益を対象製品の予測の確率頻度分布に基づき定量評価する。

## 2.5 製品毎の収益管理

増産リスクと期待リターンを定量化により、増産数  $X$  を変化させた場合の期待リターン、機会損失リスク、返品リスクを算定する。

発売後第  $N$  週における増産数に応じた機会損失リスク、最終返品リスク、および期待リターンの推移例を図 4 に示す。増産数が多いほど、機会損失リスクは減少し、最終返品リスクは増加する。また、期待リターンは、リスク考慮前粗利と、さらにリスク考慮前期待粗利から期待原価を差し引いたリスク考慮粗利の 2 つある。前者は青線で示しているが、増産が多いほど増えるが効率は漸減する。後者は橙色線で示されるが、一定のピーク値を示し漸減する。

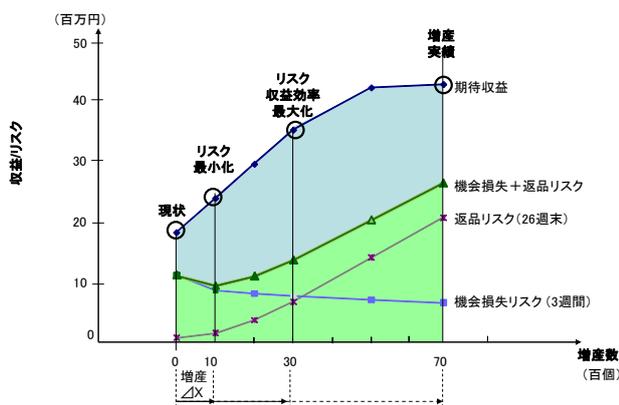


図 4 増産数に応じたリスクと期待売上の推移

## 2.6 複数製品のポートフォリオ管理

メーカーは、限られた経営資源の中で複数製品の生産計画を策定する。前節では製品毎にリスク最小化、リスク収益効率最適、収益絶対額最大化のための増産数を定量把握できる収益管理手法を示したが、本節ではこれを複数製品管理可能な手法へ展開する。製品毎に大きく異なるものは増産数である。したがって、図 4 と同様の内容を横軸にリスク、縦軸に期待売上をとり増産数を無次元化した図 5 を準備する。ここで各製品の返品リスク + 機会損失リスクの総リスク線（緑線）を示し製品間評価を行う。現状のプロット点から、増産するに従い上へ移動する。傾きが高いほどリスク収益効率がよい。

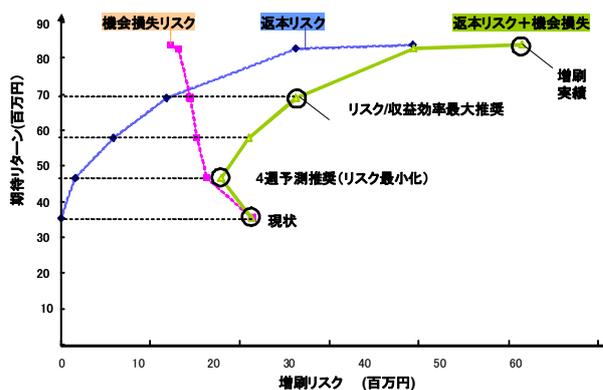


図 5 増産数別の増産リスクと期待リターン分布

## 3. 出版ビジネス収益管理事例

書籍販売傾向は、リリース後の急速な販売数上昇につき突如としてピークアウトする。この目算を誤ることで増刷が原因で最終的な赤字にあることも珍しくない。本研究で提案した累積販売数予測に基づくポートフォリオ収益管理と生産計画決定法を出版社ビジネスへ適応して検証を行う。対象にしたのは、2006 年発売の中堅出版社ビジネスジャンルでおこなった。対象中堅出版社では、増刷意思決定から書店展示までのリードタイム 2 週間、増刷意思決定会議の頻度が約 1 週間であるため、増刷意思決定による機会損失が発生する期間は 2 週先から 3 週先の 1 週間となる。最終返本リスクは、発売後半年後の 26 週時点で評価し、その時点で売れ残っている冊数を最終廃棄とする。

表 2 に、ビジネス書 A の発売後 2 週間時点での増刷リスク計算の例を示す。増刷をすればするほど期待収益（粗利ベース）は好転し 4.7 万部印刷時が最も高いが、一方で、返本リスクが上昇する。収益とリスクの差額最大化のシナリオでは 313 百部、リスク対リターンの効率最大化シナリオでは 69 百部、リ

表 2 発売後 2 週間の増刷リスク（ビジネス書 A）

	(10万円)					
	現状	増刷少			増刷多	
増刷数シナリオ(百冊数)	0	19	69	141	313	468
期待収益 (粗利ベース)	176.4	232.4	288.4	344.4	413.6	418.9
返本リスク	4.1	12.0	33.2	63.2	135.4	200.8
機会損失リスク	106.8	81.7	76.0	72.3	65.9	61.1
(収益) - (リスク計)	65.5	138.6	179.3	208.9	<b>212.4</b>	157.0
(収益) / (リスク計)	1.6	2.5	<b>2.6</b>	2.5	2.1	1.6
(リスク計)	110.9	<b>93.8</b>	109.1	135.5	201.3	261.9

スク最小化シナリオをとると 19 百部で最適となる。このように会社の状況によってどのシナリオを採択するかは変わってくるが、その方針を明確にすることで製品毎の最適増産数を決定することができる。

複数製品のポートフォリオ管理図 5 の軸上で同時期の複数製品をプロットした例を、図 6 に示す。それぞれ販売後 2,3,4 週のビジネスジャンル 3 製品を示している。現状の 3 製品のリスク総計が 5100 万円、

期待リターン計が 8500 万円であったのに対し、増産後はリスク計が 5000 万円、期待リターン計が 15,000 万円となった。この増産選択が効率的なリソース配分意思決定したことを定量的に評価できる。

更に、増産ポートフォリオ選択をある条件に基づいてシステムに自動的に選択させる。リスク対リターン効率で自動的に選択、かつリスクを 7000 万円まで許容するという条件では、図 7 に示すような同じ傾き上で選択することとなる。ポートフォリオ選択ルールには、この他にリスク最小化、リスク考慮ご期待リターン最大化などの決定方法がありうる。このようにある時点における出版社全体の資産リスクを計算することで、増産や初刷するにあたっての余力（許容可能なリスク幅）が明確になり収益管理を行うことができる。

出版ポートフォリオ管理の例

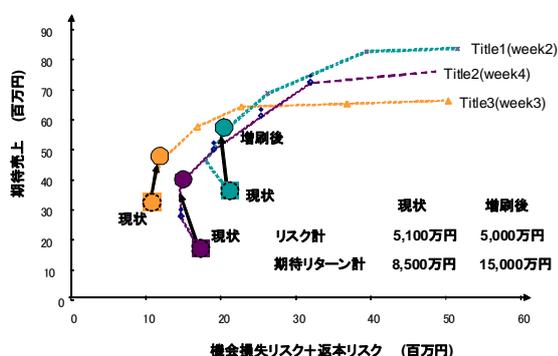


図 6 増産リスクに基づくポートフォリオ管理例

リスクリターン効率による増産数選択の例

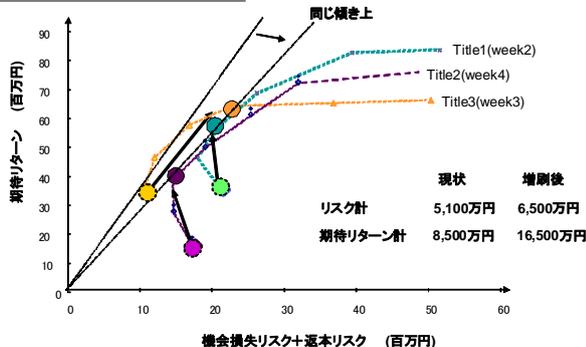


図 7 増産リスク対期待リターン効率最大化となるポートフォリオ選択例

## 5. 結論

- ・ 製品のライフサイクル収益に大きく影響する生産計画数決定プロセスにおいて、販売予測と誤差分布に基づき、期待リターン、機会損失リスク、および返品リスクを定量的に管理する手法を提案した。
- ・ 利益 - リスクの額最大化、リスク/リターン比率最大化、リスク最小化といったシナリオにより、状況に合わせた生産数決定を選択できることを示した。

- ・ 単品管理手法を発展させて複数製品評価を可能としたポートフォリオ図を示し、全社的なリスク管理を可能とした。
- ・ 提案した手法を、出版ビジネスに適用して検証した結果、リスク総計を維持しながら期待リターンを倍近くにすることができ、収益管理に有用であることを示した。

## 参考文献

- [1] Agrawal, D., Schorling, C., Market share forecasting: An empirical comparison of artificial neural network and multinomial logit model., Journal of Retailing 72(4), 383-407(1996)
- [2] Mentzer, J.T., Bienstock, C.C., Sales Forecasting, Management. Sage, Thousand Oaks, CA.(1996)
- [3] Ching-Wu Chu, Guoqiang Peter Zhang, A comparative study of linear and nonlinear models for aggregate retail sales forecasting, Int. J. Production Economics 86, 217-231(2003)
- [4] Callen, J.L., Kwan, C.Y., Yip, C.Y., Yuan, Y., Neural network forecasting of quarterly accounting earnings. International Journal of Forecasting 12, 255-267(1996)
- [5] Kirby, H.R., Watson, S.M., Dougherty, M.S., Should we use neural networks or statistical models for short-term motorway traffic forecasting?, International Journal of Forecasting 12, 43-50(1997)
- [6] Kenji Tanaka, Shoji Takechi, Knowledge based Forecasting for Non-linear Trend Products, Proceedings of the ISPE International Conference Concurrent Engineering(2009)
- [7] 宮田秀明, 田中謙司, 佐藤一郎, 西陽一「増刷推奨処理システム」, 特願 2007-127052, 平成 19 年 5 月 11 日出願
- [8] 宮田秀明, 田中謙司, 佐藤一郎, 西陽一「販売予測システム、方法、及び、コンピュータプログラム」, 特願 2007-10795, 平成 19 年 1 月 19 日出願