

1. はじめに
2. レジリエンスな  
生産計画
3. AVaR と  
Shapley 値
4. 提案手法
5. 数値実験  
進捗
6. まとめ

# レジリエンスな生産計画のための リスク評価指標 AVaR の Shapley 値による最適化

川口 晏璃

December 17, 2021

# 1.1 本研究の背景

2/20

- 1. はじめに
- 2. レジリエンスな生産計画
- 3. AVaR と Shapley 値
- 4. 提案手法
- 5. 数値実験  
進捗
- 6. まとめ

## 背景

近年では、市場ニーズの多様化・個性化によりたくさんの種類の製品やそのバリエーションが増え、顧客が製品仕様をカスタマイズできようになっている。

これにより、納入リードタイムは短くなり製品ごとの受注量の変動が大きく、需要の不確実性が増大している。

## 目的

本研究では、環境の変化や不確実性にレジリエンスに対応できるリスク評価指標 Average Value at Risk (AVaR) とゲーム理論の Shapley 値を融合させた生産計画手法を提案する。

## 2.1 生産計画とレジリエンス

3/20

### 生産計画

生産計画とは、「どの製品をいつ、どれだけ、いつまでに生産するのか」を計画することである。日本の製造業界では、生産内示が伝統的なやり方であり、生産内示は内示情報を仲立ちとした企業間連携である。

内示情報とは発注者が仕入れ先へ提示する事前注文予測量のことである。内示情報は確定注文ではないため不確実性をもっている。

### レジリエンス

レジリエンスとは、リスクを予想しながら、想定される状況下あるいは、想定外の状況下でも、求められている動作を継続する力あるいは、回復する力のことである。変化や不確実性に対応できるレジリエンスの高いオペレーションやサプライチェーンの構築は不可欠である。

1. はじめに
2. レジリエンスな生産計画
3. AVaR と Shapley 値
4. 提案手法
5. 数値実験  
進捗
6. まとめ

## 2.2 安全在庫と未達率

4/20

従来研究では安全在庫と未達率を用いた生産計画が考えられていた。

### 安全在庫

安全在庫は欠品を防ぐために必要な在庫量のことである。安全在庫量が決まると、適正在庫の下限値が決定し、余剰在庫による無駄の削減、販売機会の損失、キャッシュフローの改善などのメリットが挙げられる。

$$\begin{aligned} \text{安全在庫量} &= \text{安全係数} \times \text{使用量の標準偏差} \\ &\quad \times \sqrt{\text{発注リードタイム} + \text{発注間隔}} \end{aligned}$$

### 未達率

期間の各期において少なくとも1度在庫切れが生じる確率を未達率と定義する。従来、在庫切れが生じるリスクは等確率となるように各期に割り振られていた。

計画目標未達率を  $\beta$  とすると、期別の未達率  $\beta_i$  は、

$$\beta_i = 1 - \sqrt[n]{1 - \beta} (\forall i \leq n)$$

と与えられる。

1. はじめに
2. レジリエンスな生産計画
3. AVaR と Shapley 値
4. 提案手法
5. 数値実験
6. まとめ

## 3.1 リスク評価指標 AVaR

5/20

### AVaR

AVaR は在庫量が AVaR 以下になる確率である．正規分布のすそが厚い場合でも超過損失の程度を把握できる．生産計画問題は，AVaR を評価指標とすることから，特性関数  $v(S)$  は  $-AVaR$  とする． $-$ をつけることにより優加法性を満たす．

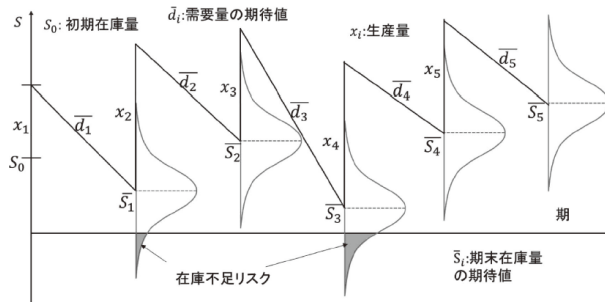


図 1: 5 期間の生産計画

1. はじめに
2. レジリエンスな生産計画
3. AVaR と Shapley 値
4. 提案手法
5. 数値実験
6. まとめ

## 3.2 Shapley 値

6/20

### Shapley 値

協力ゲームにおいて Shapley 値は、プレイヤーの協力によって得られた利得を、個人合理性、全体合理性のもとで割り振ることができる。本研究で用いる Shapley 値では、内示情報に応じてリスクを各期に合理的に割り振ることとする。

Shapley 値の一般的な求め方は以下の式である。

$$\pi_i = \sum_{S \subseteq N - \{j\}} \frac{|S|!(|N| - |S| - 1)!}{|N|!} (v(S \cup \{i\}) - v(S))$$

上記の式は以下の式で定式化が可能である。

$$\sum_{i \in S} \pi_i = \pi(S)$$

1. はじめに
2. レジリエンスな生産計画
3. AVaR と Shapley 値
4. 提案手法
5. 数値実験  
進捗
6. まとめ

## 3.2 Shapley 値

7/20

1. はじめに
2. レジリエンスな生産計画
3. AVaR と Shapley 値
4. 提案手法
5. 数値実験  
進捗
6. まとめ

定式化した式を用いて、2 次の最適化問題を解くことにより、Shapley 値を求めることができる。

### 2 次計画モデル

$$\begin{aligned} & \text{minimize} \sum_{s \subset N} (v(s) - x(s))^2 m(s) \\ & \text{subject to} \sum_{i \in N} x_i = v(N), \quad x_i \geq v(i), \quad (\forall i \in N) \end{aligned}$$

ここで、 $m(S)$  は重み関数であり、 $x$  は任意の集合  $S$  に対する  $x(S) = \sum_{i \in S} x_i$  のペイオフ・ベクトルである。二次プログラムの最適解は、個人とグループの合理性を制約条件として、shapley 値を表す。

## 3.3 未定

8/20

1. はじめに
2. レジリエンスな  
生産計画
3. AVaR と  
Shapley 値
4. 提案手法
5. 数値実験  
進捗
6. まとめ

未定



## 4.1 提案手法

9/20

### 提案手法

5 期間の生産計画を考える．内示情報と有意水準  $\alpha$  を与えられたとき，

- ▷ AVaR の導出
- ▷ 特性関数  $v(S)$  の導出
- ▷ Shapley 値の導出
- ▷ 生産量の決定

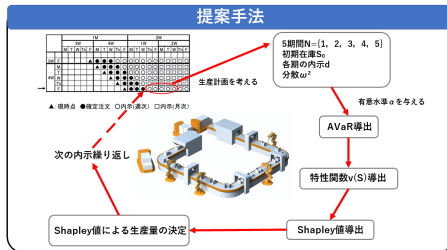


図 2: 提案手法の流れ

## 5.1 数値実験

10/20

5 期間  $N = \{1, 2, 3, 4, 5\}$  の生産計画について、AVaR のもとで、特性関数の値を導出した結果を示す。初期在庫  $S_0$  は 10、各期の内示は  $d = [18, 10, 8, 24, 30]$  で与えられる。ただし、確定注文は内示を平均として分散  $\omega^2 = 4$ 、有意水準は  $\alpha = 0.05$  とした。

1 から 5 期間の重み関数  $\mathbf{M}$  は、

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} 0.2500 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.0833 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.0833 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.2500 \end{bmatrix}$$

である。また分散共分散行列  $\Sigma$  は、

$$\Sigma = \begin{bmatrix} 4 & 4 & 4 & 4 & 4 \\ 4 & 8 & 8 & 8 & 8 \\ 4 & 8 & 12 & 12 & 12 \\ 4 & 8 & 12 & 16 & 16 \\ 4 & 8 & 12 & 16 & 20 \end{bmatrix}$$

となる。

1. はじめに
2. レジリエンスな生産計画
3. AVaR と Shapley 値
4. 提案手法
5. 数値実験
6. まとめ

## 5.1 数値実験

11/20

表 1: 5 期間の特性関数  $v(S)$

提携	$v(S)$	提携	$v(S)$
$v\{\emptyset\}$	0	$v\{123\}$	-51.4360
$v\{1\}$	-22.1255	$v\{124\}$	-65.6824
$v\{2\}$	-15.8343	$v\{125\}$	-74.5018
$v\{3\}$	-15.1455	$v\{134\}$	-67.5026
$v\{4\}$	-32.2508	$v\{135\}$	-73.9824
$v\{5\}$	-39.2248	$v\{145\}$	-91.3499
$v\{12\}$	-37.2248	$v\{234\}$	-61.7849
$v\{13\}$	-36.1051	$v\{235\}$	-66.9050
$v\{14\}$	-52.9148	$v\{245\}$	-85.4364
$v\{15\}$	-59.6685	$v\{345\}$	-85.3370
$v\{23\}$	-30.3762	$v\{1234\}$	-82.5958
$v\{24\}$	-47.0458	$v\{1235\}$	-88.9693
$v\{25\}$	-53.6824	$v\{1245\}$	-106.0551
$v\{34\}$	-46.8745	$v\{1345\}$	-105.7632
$v\{35\}$	-53.4360	$v\{2345\}$	-95.3370
$v\{45\}$	-71.0095	$v\{12345\}$	-120.5949

1. はじめに
2. レジリエンスな生産計画
3. AVaR と Shapley 値
4. 提案手法
5. 数値実験
6. まとめ

オリジナリティの案を考えた.

## オリジナリティ

- ▷ 余剰在庫の上限値も考慮する？
- ▷ 期間を変える？
- ▷ Shapley 値以外の拡張 Shapley 値, Myerson 値を生産計画に適用できる？



拡張 Shapley 値を多段階多品目の生産計画に取り入れる

## 進捗

- ▷ Shapley 値を出すところまでもとのプログラムの完成 (jupyter で)
- ▷ 院試の勉強

1. はじめに
2. レジリエンスな生産計画
3. AVaR と Shapley 値
4. 提案手法
5. 数値実験
- 進捗
6. まとめ

## プログラム

```
# parameter
demand=np.array([18,10,8,24,30]) #d需要
omega=2 #omega偏差
alpha=0.05 #alpha有意水準
initial_stock=10 #i_s初期在庫
```

```
array([[ 1. , -22.125],
       [ 2. , -15.834],
       [ 3. , -15.145],
       [ 4. , -32.251],
       [ 5. , -39.225],
       [12. , -37.225],
       [13. , -36.105],
       [14. , -52.915],
       [15. , -59.668],
       [23. , -30.376],
       [24. , -47.046],
       [25. , -53.682],
       [34. , -46.874],
       [35. , -53.436],
       [45. , -71.01 ],
       [123. , -51.436],
       [124. , -67.978],
       [125. , -74.502],
       [134. , -67.503],
       [135. , -73.982],
       [145. , -91.35 ],
       [234. , -61.785],
       [235. , -68.21 ],
       [245. , -85.436],
       [345. , -85.337],
       [1234. , -82.596],
       [1235. , -88.969],
       [1245. , -106.055],
       [1345. , -105.763],
       [2345. , -99.98 ],
       [12345. , -120.595]])]
```

1. はじめに
2. レジリエンスな生産計画
3. AVaR と Shapley 値
4. 提案手法
5. 数値実験
6. まとめ

進捗

1. はじめに
2. レジリエンスな生産計画
3. AVaR と Shapley 値
4. 提案手法
5. 数値実験
- 進捗
6. まとめ

[ [ 1, 22.125 0, 0, 0, 0.2 -22.125
-4.425]
[ 12, 37.225 2, 15.834 1, 0.05 -21.39
-1.07 ]
[ 13, 36.105 3, 15.145 1, 0.05 -20.96
-1.048]
[ 14, 52.915 4, 32.251 1, 0.05 -20.664
-1.033]
[ 15, 59.668 5, 39.225 1, 0.05 -20.444
-1.022]
[ 123, 51.436 23, 30.376 2, 0.033 -21.06
-0.702]
[ 124, 67.978 24, 47.046 2, 0.033 -20.932
-0.698]
[ 125, 74.502 25, 53.682 2, 0.033 -20.819
-0.694]
[ 134, 67.503 34, 46.874 2, 0.033 -20.628
-0.688]
[ 135, 73.982 35, 53.436 2, 0.033 -20.546
-0.685]
[ 145, 91.35 45, 71.01 2, 0.033 -20.34
-0.678]
[ 1234, 82.596 234, 61.785 3, 0.05 -20.811
-1.041]
[ 1235, 88.969 235, 68.21 3, 0.05 -20.759
-1.038]
[ 1245, 106.055 245, 85.436 3, 0.05 -20.619
-1.031]
[ 1345, 105.763 345, 85.337 3, 0.05 -20.426
-1.021]
[12345, 120.595 2345, 99.98 4, 0.2 -20.615
-4.123]]
期間1のShapley値 20.995936247212192

図 3: 期間 1 の Shapley 値

## 進捗

- ▷ オリジナリティ前の python プログラムの完成（各期の生産量だすところまで）
- ▷ オリジナリティの勉強

1. はじめに
2. レジリエンスな生産計画
3. AVaR と Shapley 値
4. 提案手法
5. 数値実験
- 進捗
6. まとめ



オリジナリティはまだ python のプログラムに組み込んでいないが、もとになる生産計画のプログラムは作った。

```

期間1のShapley値: 20.995936247212192
期間2のShapley値: 15.061701510189277
期間3のShapley値: 14.597266103701344
期間4のShapley値: 31.660736660894138
期間5のShapley値: 38.2793346827019
生産量: [11. 16. 15. 32. 39.]
在庫量: [ 3.  9. 15. 23. 31.]
    
```

図 4: 各期間の shapley 値と生産量と在庫量

多目標モデルで考える<sup>1</sup>.

多目標モデルを伝達構造と捉え、各工程で製造する部品の在庫切れをリスクとして Shapley 値ではなく Myerson 値を導出し、各工程に割り振り生産量を決定する... とか.

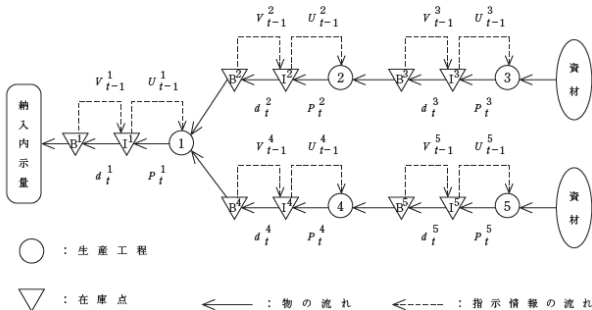


図 5: 多目標モデルの概念

<sup>1</sup>渡辺展男:「モデリングシステムを用いた生産計画問題の解放 (2)-引っ張り型生産指示方式の多目標モデル-」, 専修経営研究年報

## 論文中の元の式

$$U_t^{n(i)} = U_{t-1}^{n(i)} - P_t^{n(i)} + d_t^{n(i)} \quad (n = 1, 2, \dots, N, t = 1, 2, \dots, T) \quad (1)$$

第  $n$  工程での  $i$  品目の  $t$  期中の生産量  $P_t^{n(i)}$ , 第  $n$  工程の  $i$  品目について  $t$  期末に計算される  $t+1$  期の需要量  $U_t^{n(i)}$ , 第  $n$  工程での  $i$  品目の  $t$  期中の引き取り量  $d_t^{n(i)}$  である.

・オリジナリティでは生産量を求めたいから, 生産量を求める式にしたい. 生産量を決定するには, (1) 式を直す必要がある. 需要量は決定変数なら各期間の工程ごとの内示を与える?  
定式化をより詰めていく必要あり.

## 6. まとめ

20/20

### まとめ

オリジナリティ前のもとの python のプログラムはできた。  
オリジナリティの部分についてより考える．定式化のところとか．  
本論書き始める．

1. はじめに
2. レジリエンスな  
生産計画
3. AVaR と  
Shapley 値
4. 提案手法
5. 数値実験  
進捗
6. まとめ