マルチエージェントシステムを用いた自律分散型サプライチェーンにおける部分的協力の効果分析

東京理科大学 理工学研究科 経営工学専攻
田島 絵里佳, 石垣 綾, 高嶋 隆太, 西田 大, 岡本 拓也

㈱NTTデータ数理システムユーザーコンファレンス2020
学生研究奨励賞 応募論文

目次

01 背景 Introduction

02 文献調査 Literature

03 モデルの構築 Model

04 シミュレーション実験 Simulation

05 ビールゲーム実験 Beer Game

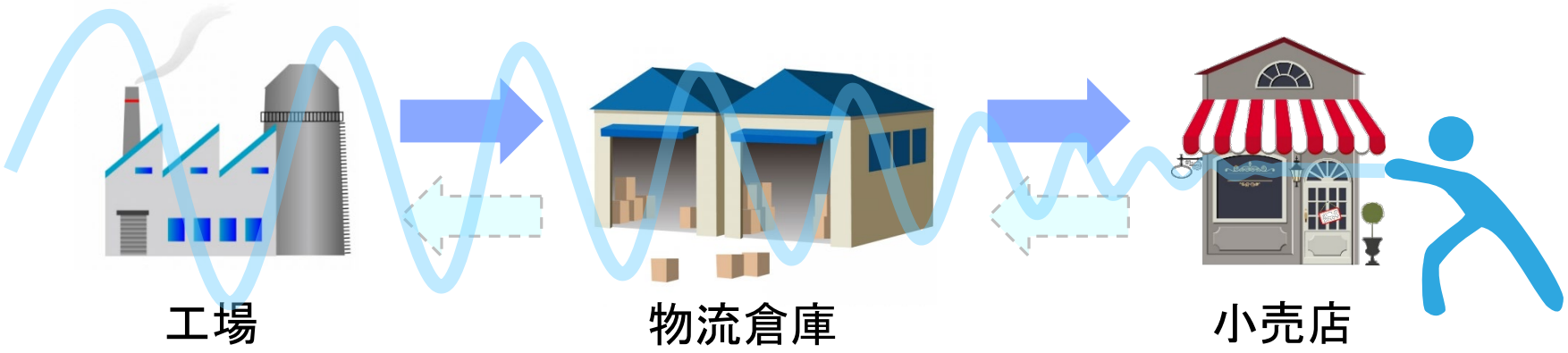
06 結論 Conclusion

サプライチェーンの現状

ブルウィップ効果 [1]

– サプライチェーンにおいて，下流から上流に行くほど発注変動が大きくなる現象

- 在庫やコスト，機械リスクの増大，生産効率の低下をもたらす [2]-[4]
- 上流企業は最終需要を歪められて伝わるため，市場変動を正確に把握できず，柔軟かつ俊敏な対応が困難 [5]



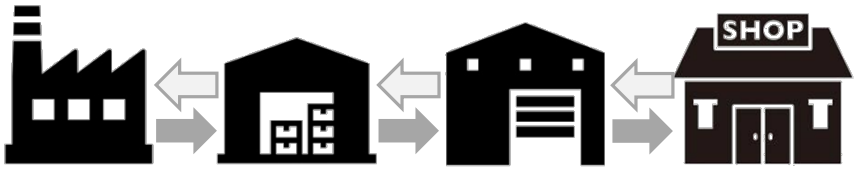
ブルウィップ効果の抑制はサプライチェーン全体の競争力を向上させるうえで重要な課題である

2種類のサプライチェーンモデル

□ 分散型モデル

– サプライチェーン内の各企業が需要情報や戦略を他社と共有しないモデル

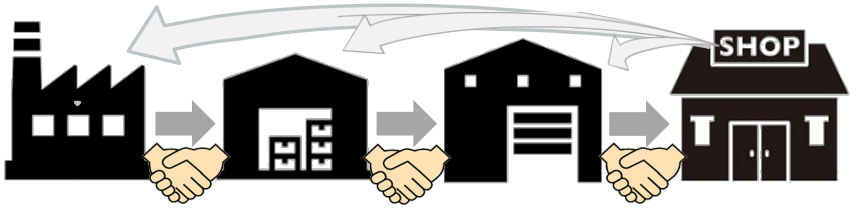
- Dominguez et al. (2018)
- Ponte et al. (2017)



□ 中央集権型モデル

– サプライチェーン全体を管理する中央管理者が存在し，すべての企業が需要情報や戦略を他社と共有するモデル

- Chen et al. (2000)
- Trapero et al. (2012)



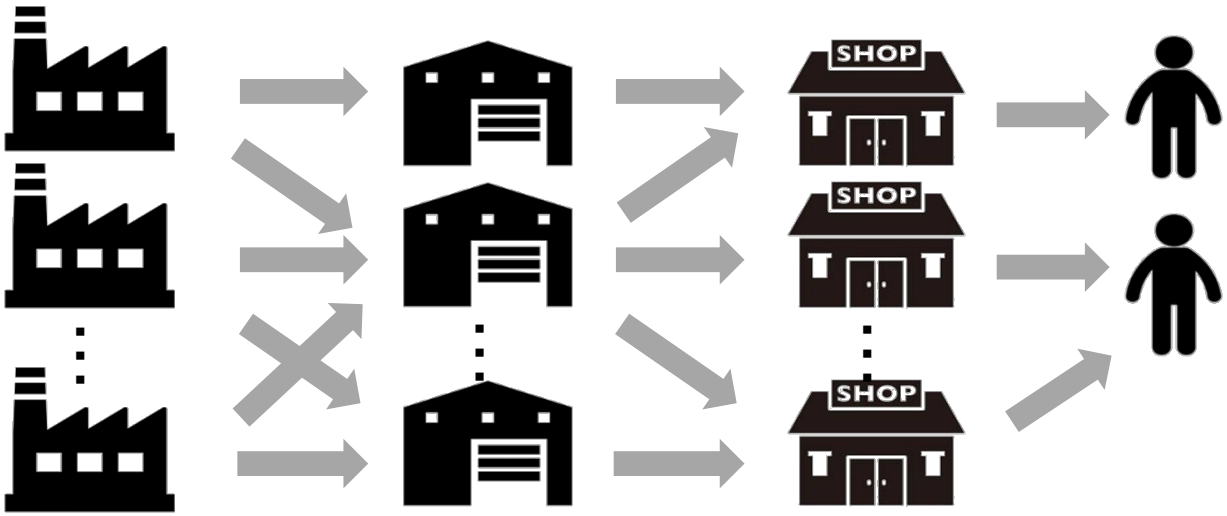
サプライチェーン全体で需要情報の共有を行うことで
ブルウィップ効果を抑制できることが多くの研究で証明されている

近年の企業間の関係性

□ 多段階サプライチェーン

ー 製品が製造されてから消費者に届くまで，複数企業を経由するサプライチェーン

- 近年の企業は複数の企業と同時に取引することから多段階サプライチェーンが主流であり，企業間の関係性は非常に複雑化している
- 多段階サプライチェーンほど，ブルウィップ効果の影響を大きく受ける



近年の複雑化する多段階サプライチェーンにおいて
需要情報を遅延なく正確に共有し，全体で協力することは困難

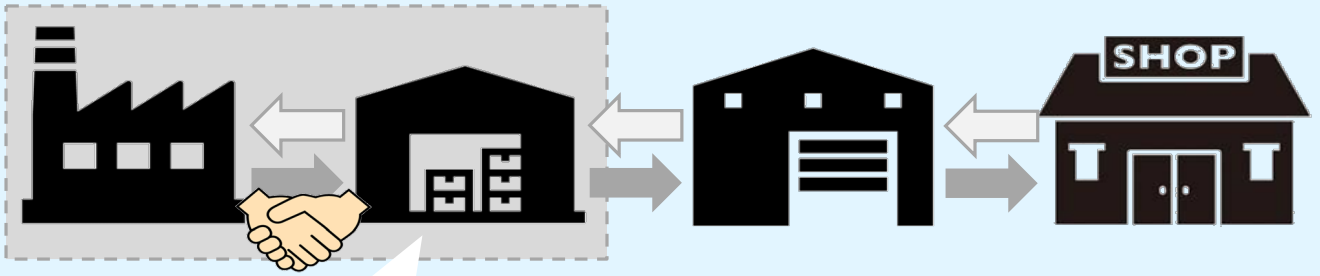
本研究で扱うサプライチェーンモデル

□ 部分的協力型モデル

– サプライチェーン内一部の企業間で協力し，**戦略の共通化**や**情報共有**を行う

➢ 特定の2つの企業間の合意さえあれば容易に実行可能

➢ 企業が独立して行う部分最適な行動によるブルウィップ効果を抑制



一部企業間で協力体制を築くことで，ブルウィップ効果の抑制やサプライチェーン全体のパフォーマンス向上に期待できる

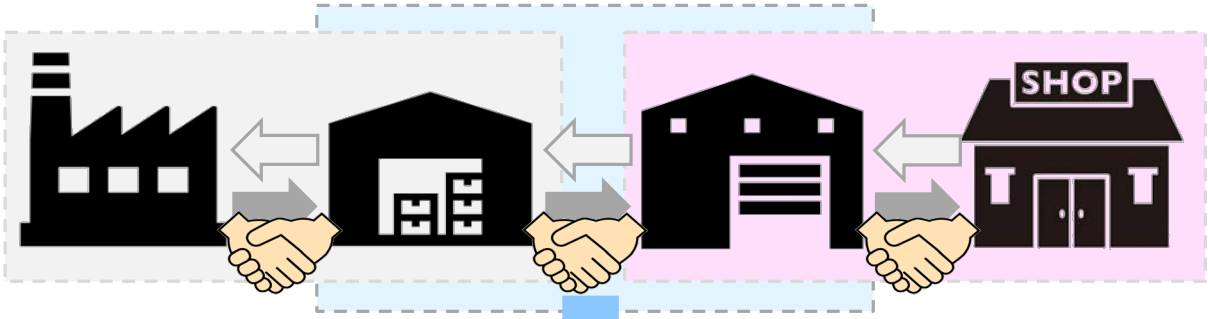
本研究の目的

□ 目的

― 多段階サプライチェーンにおける各企業の自律分散的な行動をモデル化し，部分的協力がブルウィップ効果および総費用に与える効果を分析する

➢ 部分的協力体制を築く企業間では戦略の共通化や情報共有を行う

➢ 部分的協力の効果の評価にはブルウィップ効果および総費用を用いる



▸ 戦略の共通化

▸ 需要情報の共有

ブルウィップ効果・総費用の削減

ブルウィップ効果抑制における分析手法

数理最適化

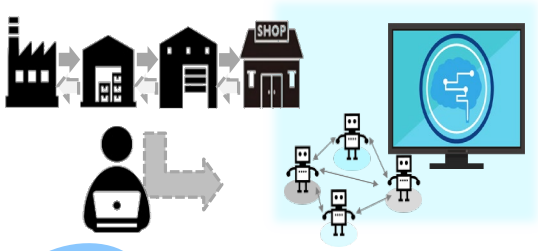
特徴

- 問題を数式で表し，制約条件を満たしたもとで最適解を求める手法

➢ Chen et al. (2000)

➢ Trapero et al. (2012)

マルチエージェントシステム



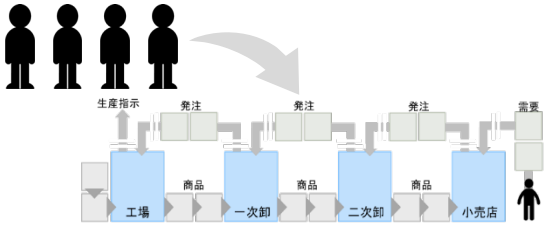
特徴

- 異なる特徴を持った自律的エージェントの相互作用をシミュレーションする

➢ Ponte et al. (2017)

➢ Dominguez et al. (2018)

ビールゲーム



特徴

- 4人のプレーヤーがサプライチェーン内の企業に扮して発注行動を行うゲーム

➢ Khan et al. (2019)

➢ Di Mauroa et al. (2020)

MAS：マルチエージェントシステム

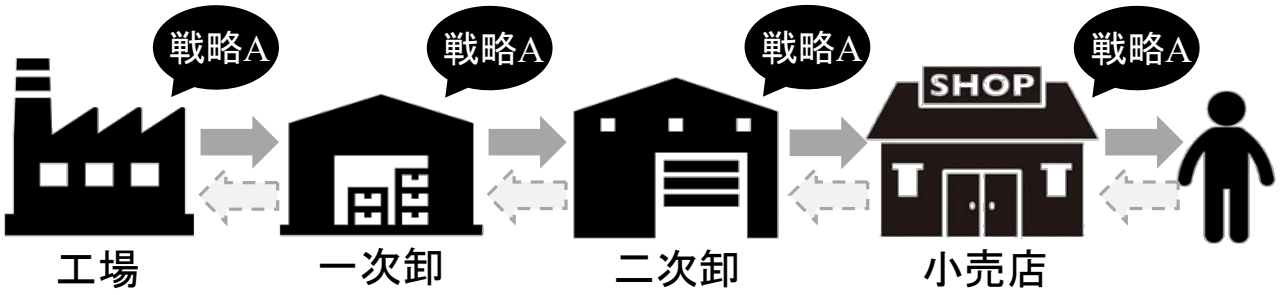
ブルウィップ効果抑制に効果のある戦略を分析する手法として数理最適化，マルチエージェントシステム，ビールゲームがある

数理最適化を用いた分析

□ 非自律型モデル（中央集権型） Chen et al. (2000) 他

ー 数理最適化の分析の多くは全ての企業が協力する非自律型モデルを構築

➢ 近年では，各企業が独立に行動を決定する**自律分散型組織**が主流



Chen et al. 他：非自律型モデル

需要予測，発注方法，
安全在庫etc...

! 部分的協力の効果を分析するため
自律分散型モデルの構築が必要

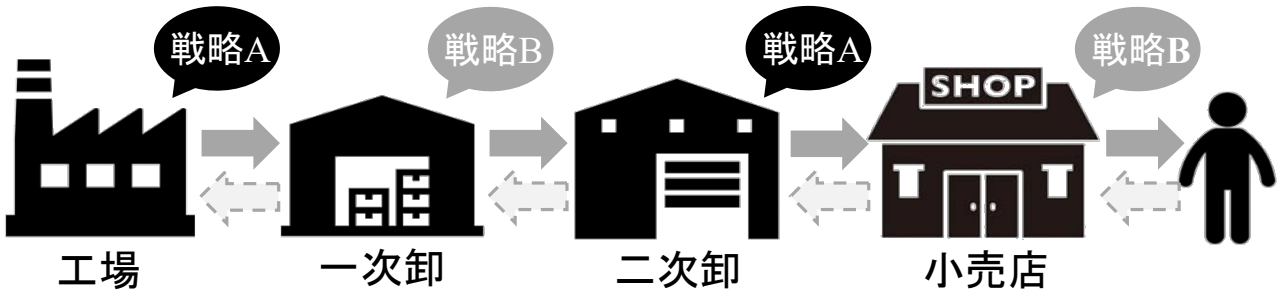
数理最適化を用いて自律分散型モデルを構築することは非常に難しい

マルチエージェントシステムやビールゲームを用いた分析

自律分散型モデル　Ponte et al. (2017) 他

ー MASやビールゲームは各企業が独立に行動を決定するモデルの構築が可能

➢ 自律分散型を用いた多くの研究では単一の戦略を最適化している



Chen et al. 他：非自律型モデル

需要予測，発注方法，
安全在庫etc...

Ponte et al. ：自律分散型モデル

需要予測

! 部分的協力の効果を分析するため
自律分散型モデルの構築が必要

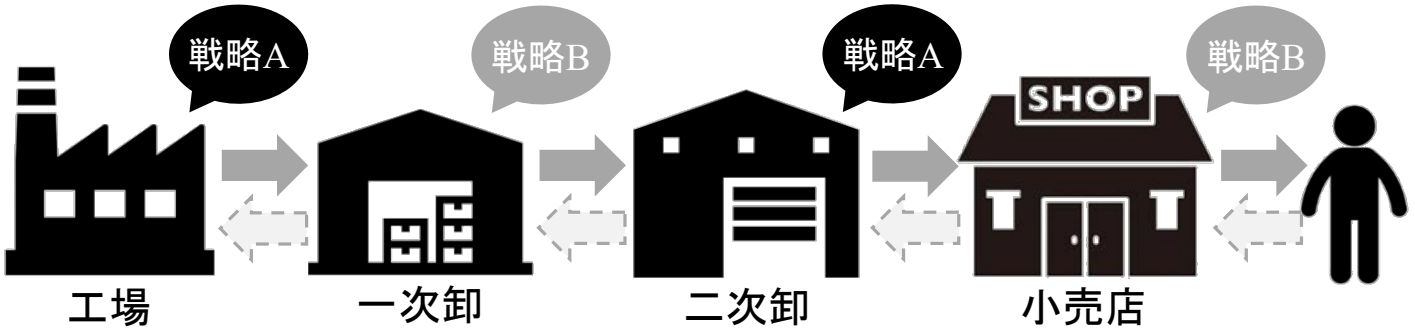
But!

- AIなどによる高精度な需要予測や在庫管理
- 自律分散型モデルを用いることで複雑な条件下における分析が可能

本研究におけるモデルの特徴

本研究モデル

➢ 複数の戦略を組み合わせることで**企業戦略の傾向**を表現する



Chen et al. 他：非自律型モデル

需要予測，発注方法，
安全在庫etc...

Ponte et al. ：自律分散型モデル

需要予測

! 部分的協力の効果を分析するため
自律分散型モデルの構築が必要

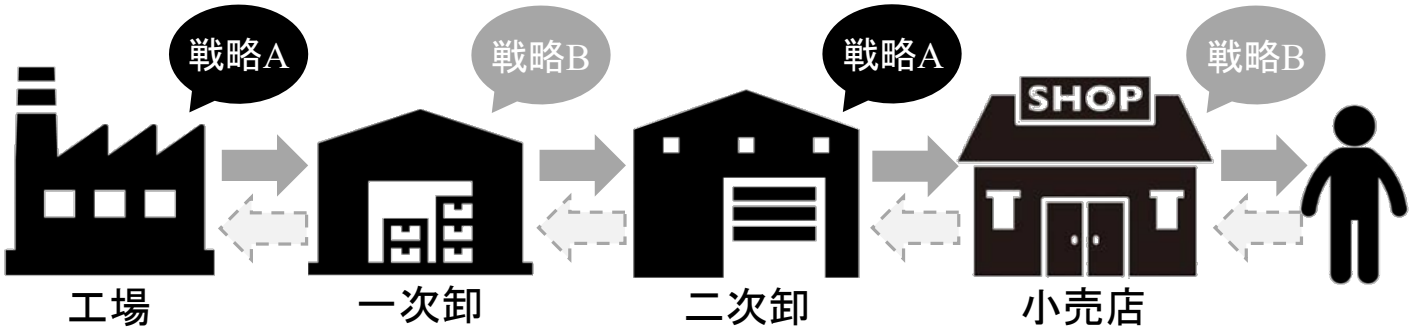
本研究：自律分散型モデル

企業戦略の傾向
（最適な経営方針）

本研究におけるモデルの特徴

本研究モデル

➢ さらに，MASとビールゲーム両実験を行うことで人間的行動心理を考慮する



Chen et al. 他：非自律型モデル

需要予測，発注方法，
安全在庫etc...

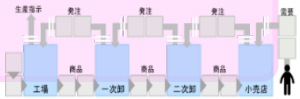
Ponte et al. ：自律分散型モデル

需要予測

マルチエージェント
システム

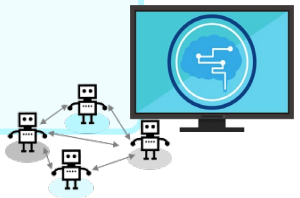
本研究：ビールゲーム

企業の戦略の傾向
（最適な経営方針）



本研究：自律分散型モデル

企業戦略の傾向
（最適な経営方針）



本研究の特徴まとめ

- 複数の戦略を組み合わせることで**企業戦略の傾向**を表現
- サプライチェーンにおける部分的協力の効果を**MASおよびビールゲーム**により分析

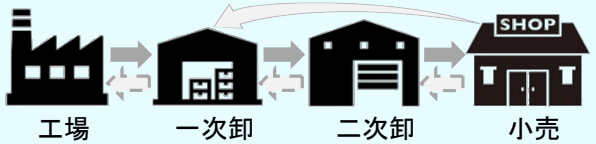
サプライチェーンにおけるブルウィップ効果や総費用を削減したい

提案1

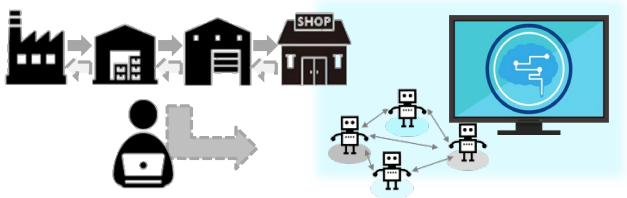
発注・在庫の「戦略」を企業間で共有

提案2

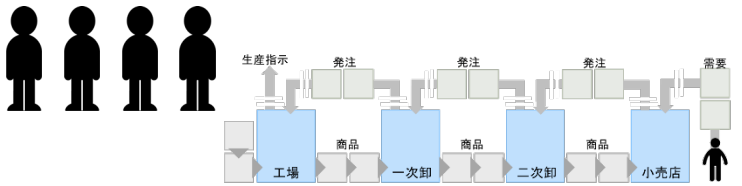
一部の企業間で需要情報を共有



☐ シミュレーション実験による検証



☐ ビールゲーム実験による検証



モデルの構築

本研究におけるモデル概要

☐ 企業間の協力

- 需要予測方法
- 安全在庫
- 情報共有

Step 1

マルチエージェントシステム

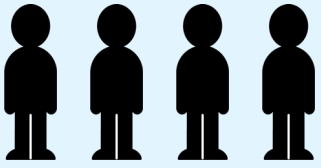
ブルウィップ効果，総費用

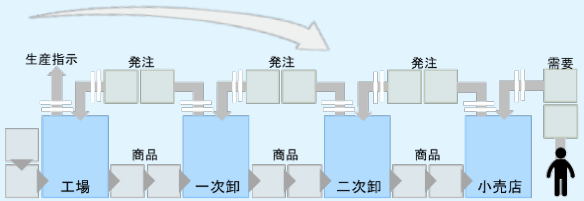
Step 2

☐ 考察

- 実際の現場での効果
- 人間の行動心理

ビールゲーム





ブルウィップ効果，総費用

モデルの構築

本研究におけるモデル概要

Step 1

マルチエージェントシステム

ブルウィップ効果，総費用

S4 Simulation System

Step 2

ビールゲーム

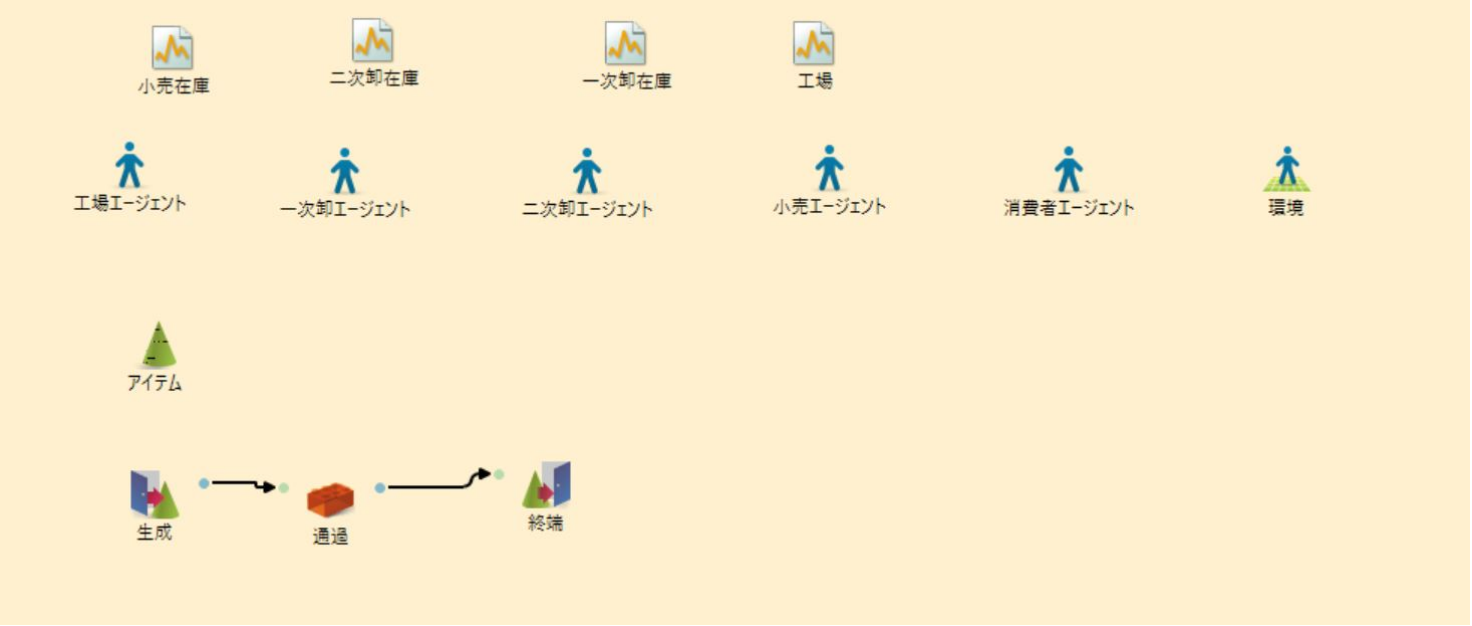
ブルウィップ効果，総費用

サプライチェーンモデルの構築

S⁴ Simulation System

– 非同期エージェントを用いて多段階サプライチェーンモデルを構築

- 4人の企業エージェントに加えて消費者エージェントを生成する
- それぞれのエージェントに行動ルールを設定し，戦略タイプを選択しながら部分的に企業間で協力するモデルを構築する



企業の戦略の傾向を考慮

□ 戦略タイプ

ー 本研究では企業の戦略の傾向（経営方針）を考慮する

➢ 在庫管理に対するリスクの思考により戦略の傾向を2つのタイプに分類

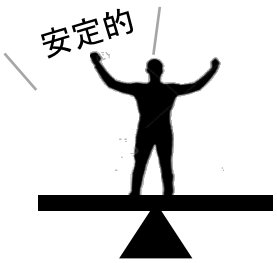
➢ MASでは**需要予測**と**安全在庫**を下記のように設定することで戦略を表現

戦略タイプA

一定の在庫量を保ち，品切れが発生しないよう行動する戦略

✓ 移動平均予測

✓ 高い安全在庫

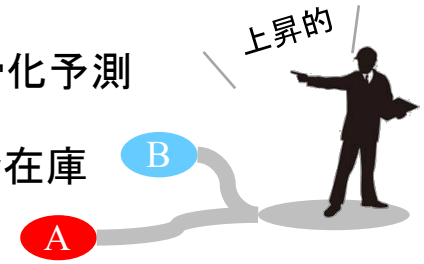


戦略タイプB

過剰在庫を減らし，必要最低限の在庫を保有するように行動する戦略

✓ 指数平滑化予測

✓ 低い安全在庫



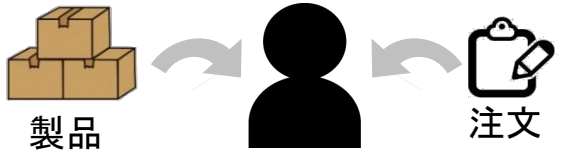
2種類の戦略タイプをもとに自律分散型サプライチェーンモデルを構築し，部分的協力の効果を分析

マルチエージェントシステムにおけるプレーヤーの行動

Step 1

製品・需要の受取

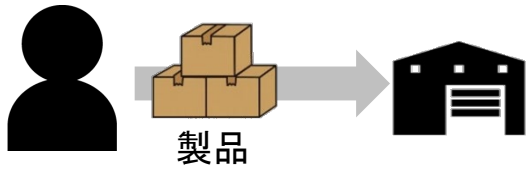
上流プレーヤーから製品を受け取り，
下流プレーヤーから需要を受け取る



Step 2

製品の発送

需要量と受注残を考慮し，
下流プレーヤーに製品を発送する



Step 3

在庫情報の更新

手持ち在庫，未納入在庫，
受注残を更新する

Step 4

製品の発注

需要予測量および目標在庫を算出し，
上流プレーヤーに製品を発注する

プレーヤーは4段階の行動を繰り返すことで毎期発注行動を行う

マルチエージェントシステムにおける定式化

納入量

– $t-l$期に上流プレーヤーの出荷量

➢ 工場の納入量は$t-l$期の工場の発注量

$$R_n(t)=\begin{cases} S_{n-1}(t-l), & n\geq 2 \\ O_n(t-l), & n=1 \end{cases}$$

需要量

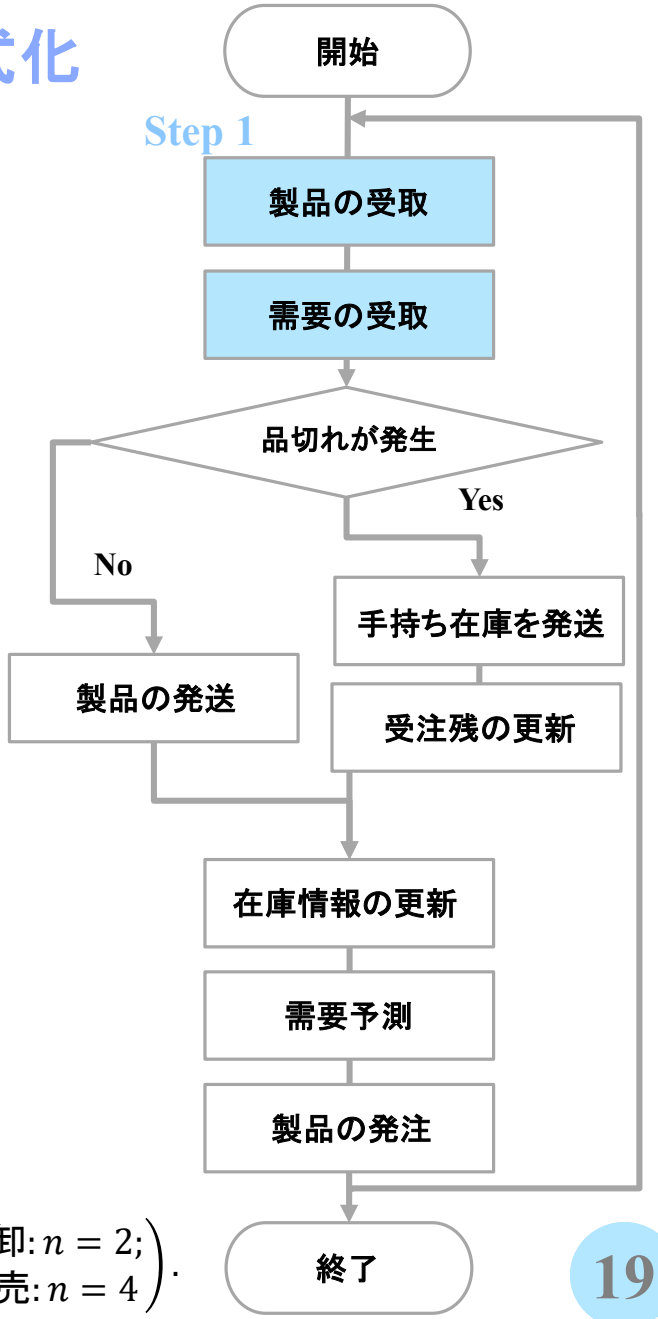
– $t-l$期の下流プレーヤーの発注量

$$D_n(t)=O_{n+1}(t-l)$$

手持ち在庫量

– 前期の手持ち在庫量に加え，上流からの納入量と下流への出荷量の累積差

$$I_n(t)=I_n(t-1)+R_n(t)-S_n(t)$$



n: サプライチェーン内の階層　N: 総階層数　$N=4$ $\begin{pmatrix}\text{工場: } n=1;\ \text{一次卸: } n=2;\\ \text{二次卸: } n=3;\ \text{小売: } n=4\end{pmatrix}$.

l: リードタイム　O_n: 発注量　t: 時間

マルチエージェントシステムにおける定式化

出荷量

– 受注残を考慮した需要量と製品納入後の手持ち在庫の最小値

$$S_n(t) = \min\{D_n(t) + B_n(t-1), I_n(t-1) + R_n(t)\}$$

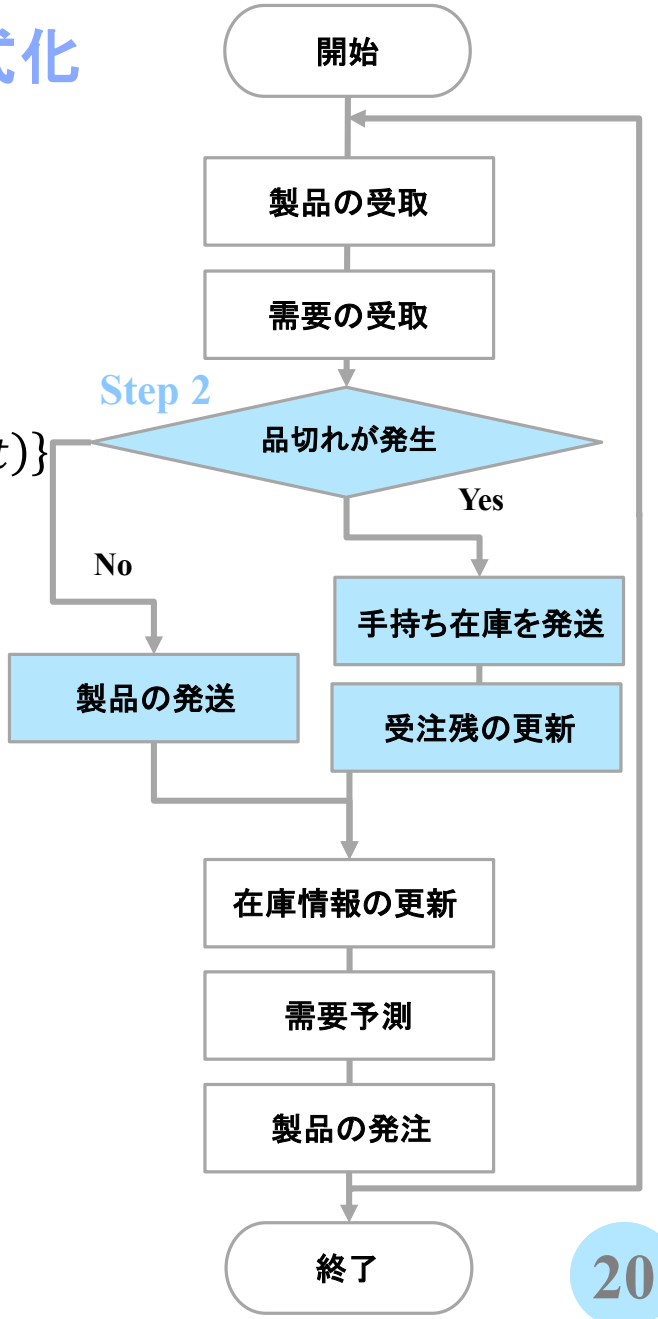
受注残（未出荷量）

– 前期受注残と需要量の和，および出荷量との差

$$B_n(t) = B_n(t-1) + D_n(t) - S_n(t)$$

n: サプライチェーン内の階層　　N: 総階層数
l: リードタイム　　t: 時間
D_n: 需要量　　R_n: 納入量　　I_n: 手持ち在庫量

$$N = 4 \begin{pmatrix} \text{工場}: n = 1; \text{一次卸}: n = 2; \\ \text{二次卸}: n = 3; \text{小売}: n = 4 \end{pmatrix}.$$

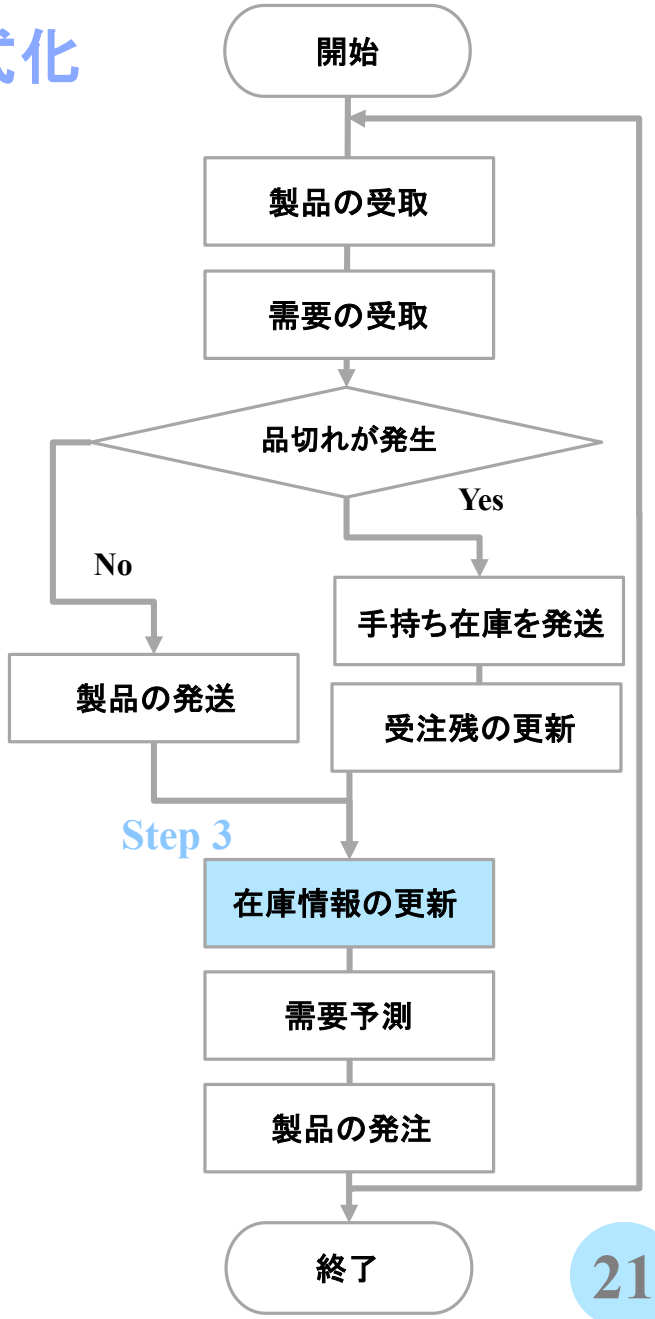


マルチエージェントシステムにおける定式化

受注在庫量（未納入量）

– 前期受注在庫量と発注量の和，および納入量の差

$$W_n(t) = W_n(t-1) + O_n(t-1) - R_n(t)$$



n: サプライチェーン内の階層　　N: 総階層数
l: リードタイム　　t: 時間
D_n: 需要量　　R_n: 納入量

$$N = 4 \begin{pmatrix} \text{工場}: n = 1; \text{一次卸}: n = 2; \\ \text{二次卸}: n = 3; \text{小売}: n = 4 \end{pmatrix}.$$

マルチエージェントシステムにおける定式化

移動平均予測

– m期分の需要量の平均値を需要予測値として用いる方法

$$F_n(t) = \frac{1}{m}\sum_{i=0}^{m-1} D_n(t-i)$$

指数平滑化予測

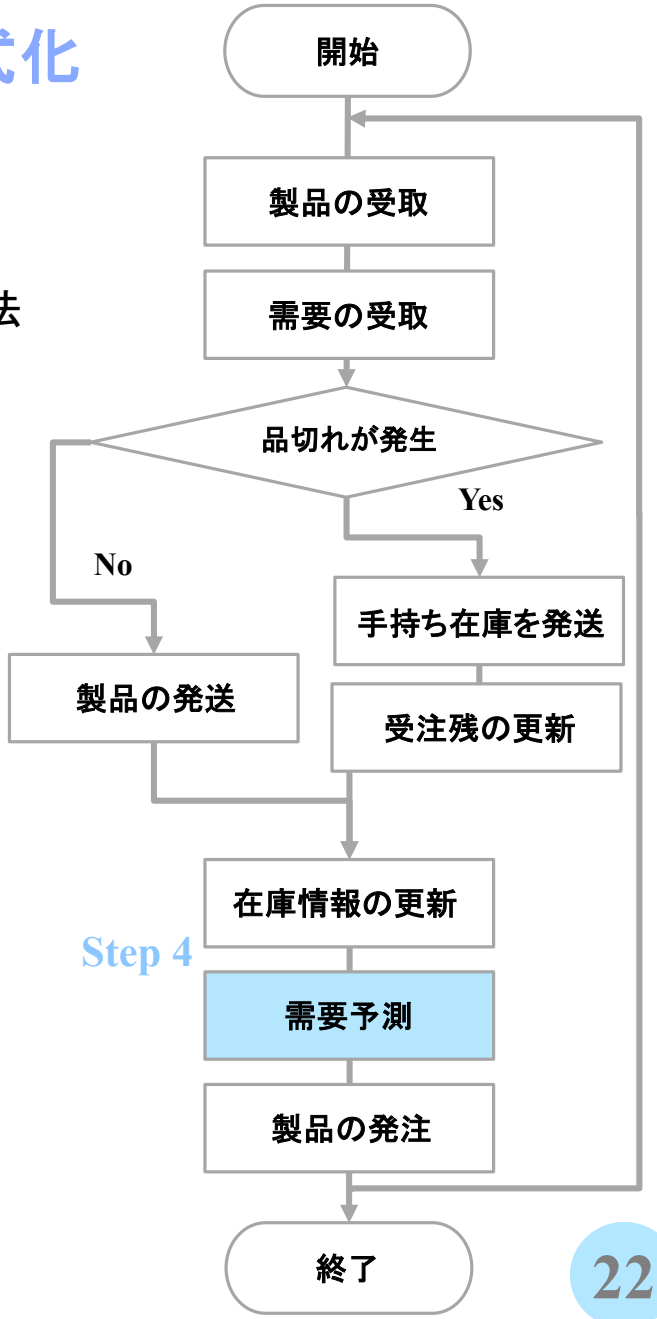
– 過去のデータを用いて予測を修正し，今期の需要を予測する方法

$$F_n(t) = f * D_n(t-1) + (1-f) * F_n(t-1)$$
$$= F_n(t-1) + f * \{D_n(t-1) - F_n(t-1)\}$$

n: サプライチェーン内の階層　　N: 総階層数　　t: 時間

m: 移動平均期間　　f: 平滑化係数

$N = 4$ (工場: $n = 1$; 一次卸: $n = 2$; 二次卸: $n = 3$; 小売: $n = 4$).



マルチエージェントシステムにおける定式化

目標在庫量

– 需要予測値，安全在庫，リードタイムを考慮する

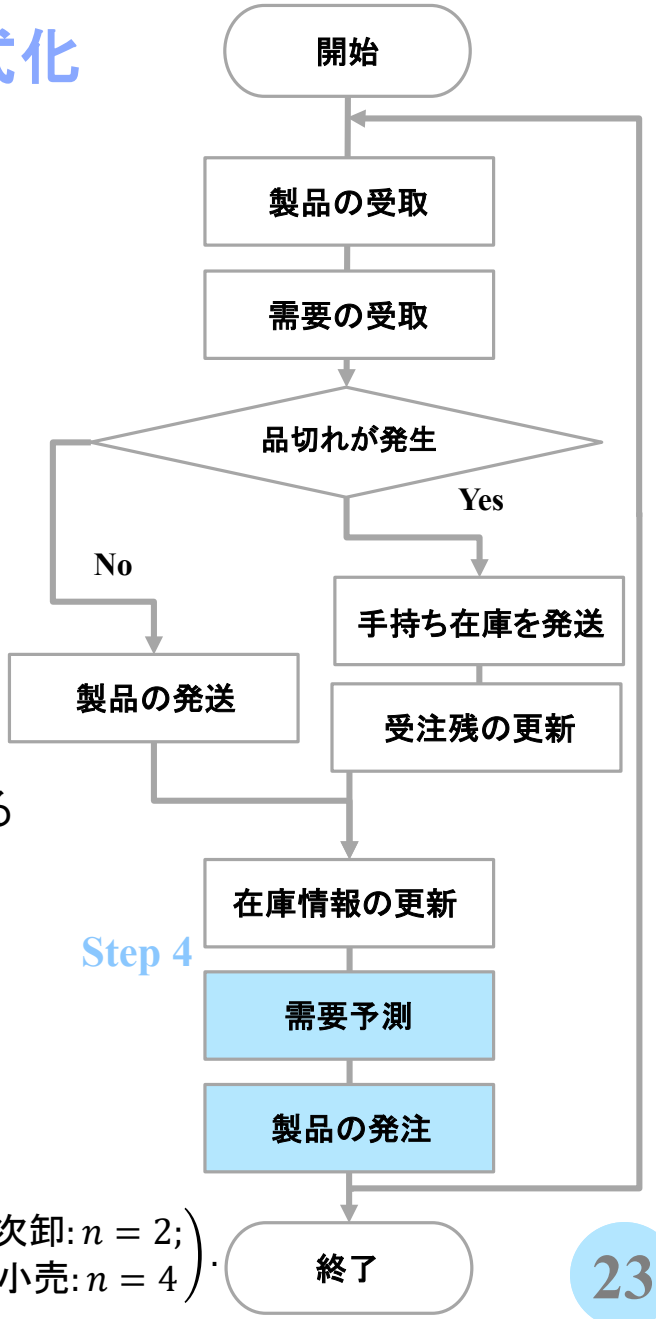
$$Y_n(t) = a * F_n(t) + SS_n + (l-1) * F_n(t)$$
$$= l * F_n(t) + SS_n$$

発注量

– 目標在庫量と有効在庫との差がなくなるよう発注する

➢ 本モデルでは発注間隔$a = 1$の定期発注方式を用いる

$$O_n(t) = \max\{Y_n(t) - [I_n(t) - B_n(t) + W_n(t)], 0\}$$



n: サプライチェーン内の階層　N: 総階層数
F_n: 需要予測値　I_n: 手持ち在庫量　t: 時間
W_n: 受注在庫量　SS_n: 安全在庫量　B_n: 受注残
a: 発注間隔　l: リードタイム

$N = 4$ $\begin{pmatrix}\text{工場}: n = 1; \text{一次卸}: n = 2;\\ \text{二次卸}: n = 3; \text{小売}: n = 4\end{pmatrix}$.

モデルの構築

評価指標

ブルウィップ比率

– 発注量と需要量の分散の比率で定義され，平均値で調整する

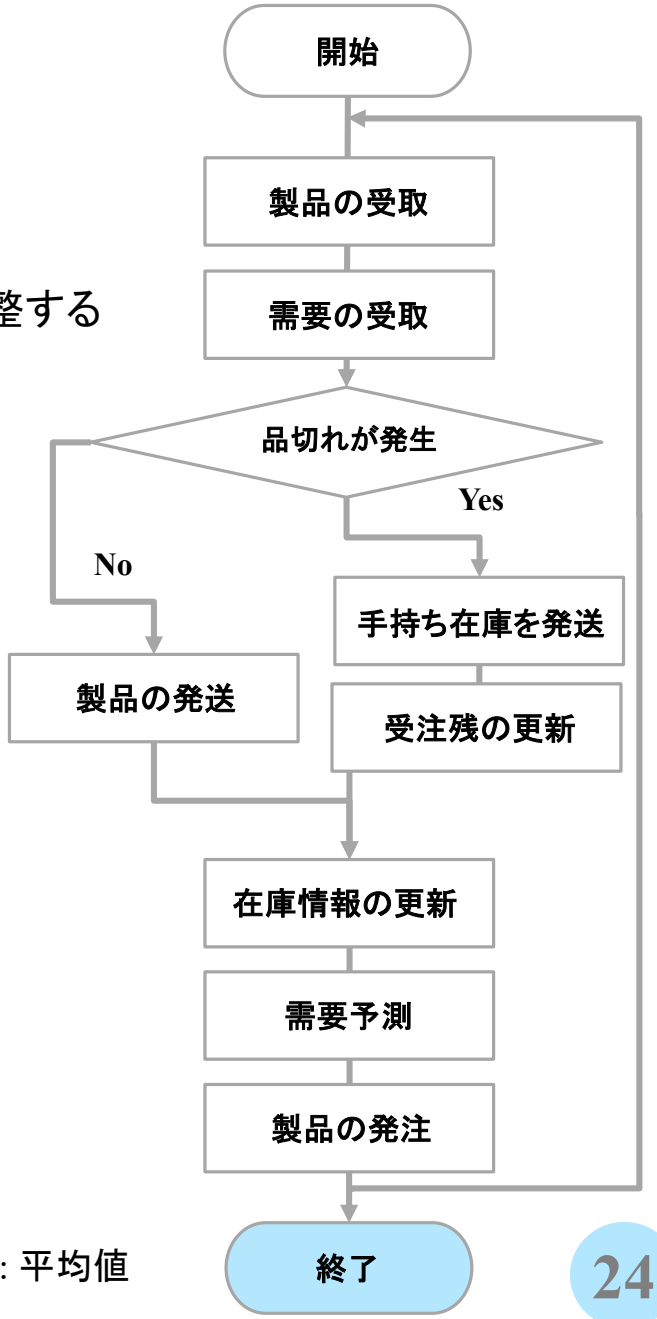
$$[BE_n]_{t=1}^{t=T} = \left[\frac{Var(O_n)/Avg(O_n)}{Var(D_n)/Avg(D_n)}\right]_{t=1}^{t=T}$$

$$[BE_{SC}]_{t=1}^{t=T} = \prod_{n=1}^{N}[BE_n]_{t=1}^{t=T}$$

総費用

– 各プレーヤーの在庫保管費と品切れ費を考慮する

$$TC_{SC} = p * \sum_{n=1}^{N}[I_n]_{t=1}^{t=T} + q * \sum_{n=1}^{N}[B_n]_{t=1}^{t=T}$$



n: サプライチェーン内の階層　N: 総階層数　t: 時間　T: 総時間
O_n: 発注量　D_n: 需要量　I_n: 手持ち在庫　B_n: 受注残
p: 在庫保管費（円/個・日）　q: 品切れ費（円/個・日）　Var: 分散値　Avg: 平均値

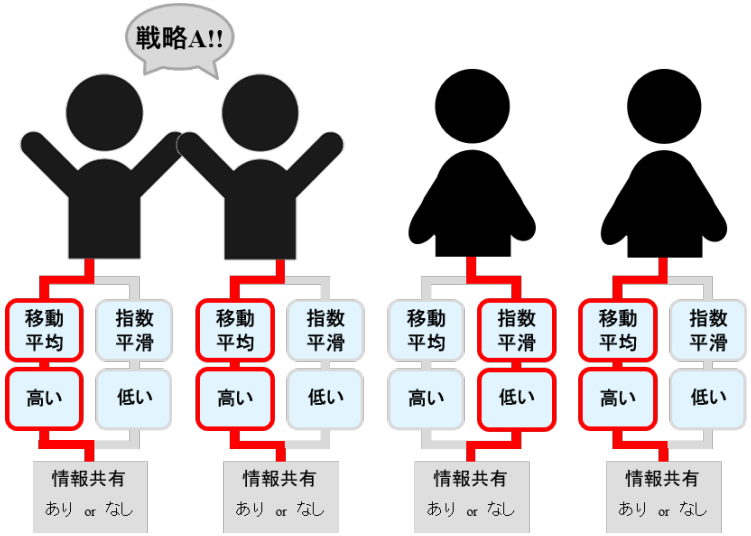
S^4 Simulation Systemにおける部分的協力の設定

□ 部分的協力型モデル

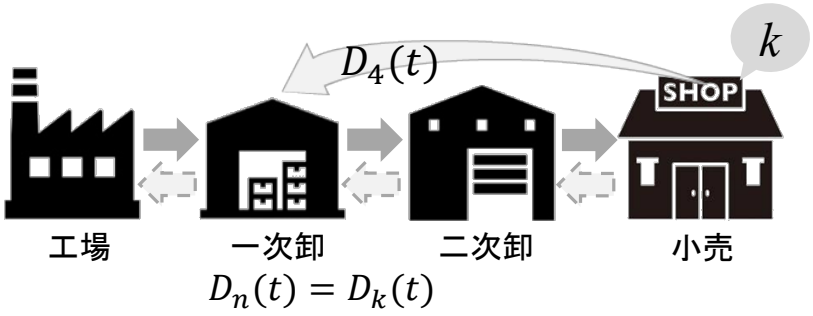
ー S^4 Simulation Systemでは定式化した在庫情報をもとにエージェントの行動を設定

- ➢ 戦略の共通化では同じ需要予測方法と安全在庫量を用いる
- ➢ 需要情報の共有では協力プレーヤーのうち上流のプレーヤーは下流プレーヤーの需要を用いて需要予測を行う

(I) 戦略の共通化



(II) 情報共有



$D_n(t) = D_k(t)$

k: 協力体制にある企業のうち，下流側に位置するプレーヤーの階層

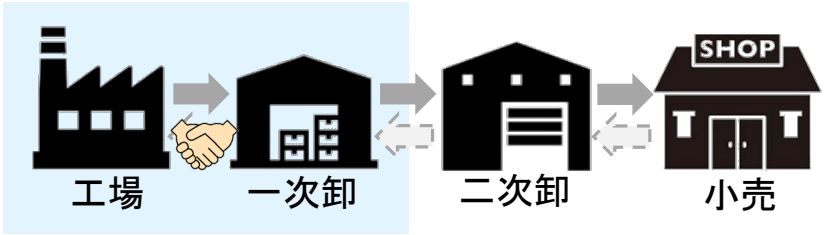
実験計画：部分的協力を行う企業の設定

□ 部分的協力パターン

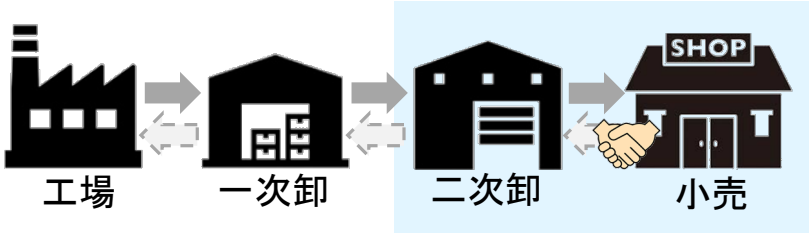
– 本研究では4プレーヤーのうち，2プレーヤーが協力体制を築くものとする

➢ 4種類の協力パターンを用意し，それぞれが戦略や情報を共有

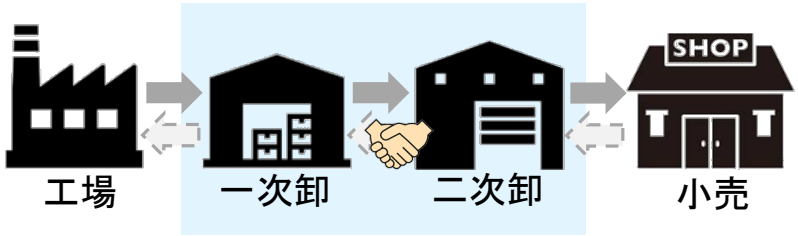
上流プレーヤーの協力



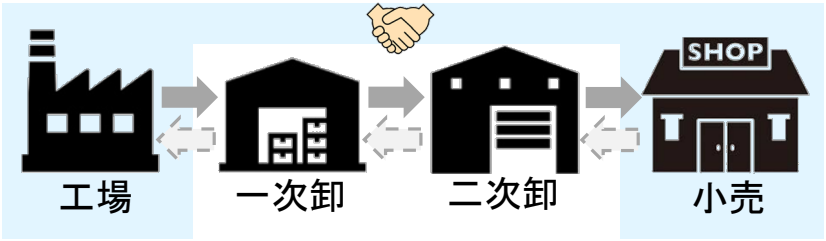
下流プレーヤーの協力



内側プレーヤーの協力



外側プレーヤーの協力



実験計画：部分的協力のためのケース設定

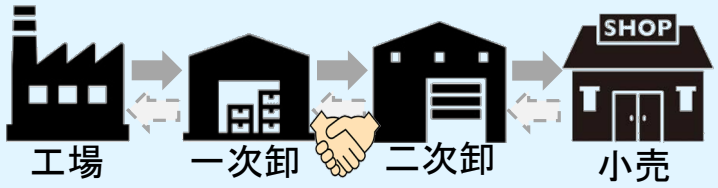
実験シナリオ

ー 戦略の共通化，情報共有の効果を分析するため，2つのケースを設定する

➢ 消費者の最終需要は平均が等しく，3つの異なる需要変動幅を用いる

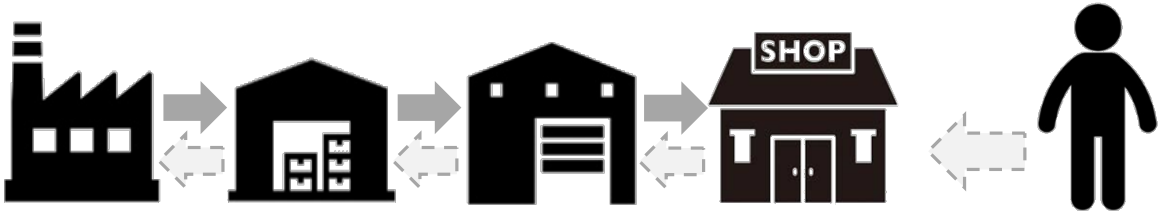
ケース1

戦略の共通化



ケース2

戦略の共通化 & 情報共有



一様乱数

- 平均：80

U[70,90]
U[60,100]
U[40,120]

実験計画：各パラメータの設定

- 各パラメータのうち，移動平均期間mおよび平滑化係数f，安全在庫量は表のように設定することで戦略タイプを表現する

- シミュレーションは各シナリオで$T = 500$期を想定して行い，ブルウィップ比率および総費用を算出して部分的協力の効果を分析する

表．戦略タイプ表現のためのパラメータ

		戦略タイプA	戦略タイプB
需要予測方法		移動平均予測	指数平滑化予測
m または f	U(70,90)	10	0.36
	U(60,100)	12	0.34
	U(40,120)	16	0.32
安全在庫	U(70,90)	40	5
	U(60,100)	60	10
	U(40,120)	80	20

在庫保管費: $p = 1$ (円/個・日)

品切れ費　: $q = 2$ (円/個・日)

発注間隔: $a = 1$

リードタイム: $l = 2$

仮説の設定

仮説1: 各シナリオで最適な戦略の傾向がある

- Ponte et al. (2017)の分析結果から，最終需要の変動幅など，環境の変化に応じて最適な戦略は異なることが明らかになった
- 協力状況に応じて最適な戦略は異なり，各シナリオで傾向があると考えられる

仮説2: 情報共有を行うことでサプライチェーンのパフォーマンスが向上する

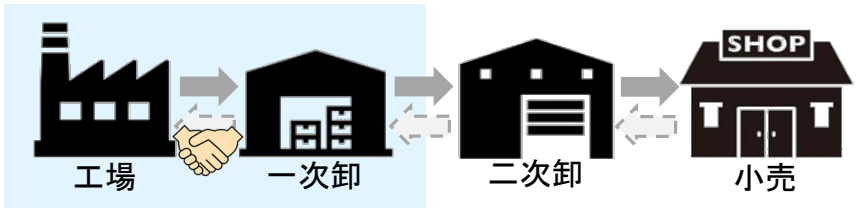
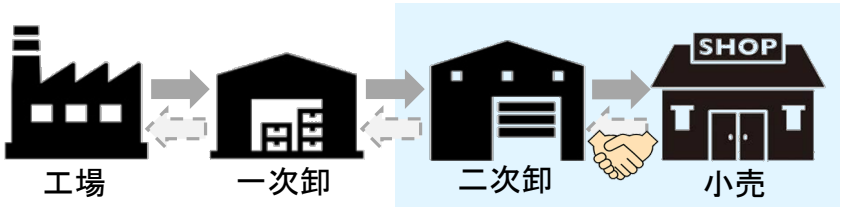
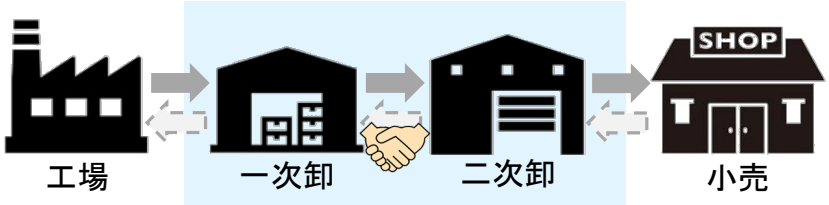
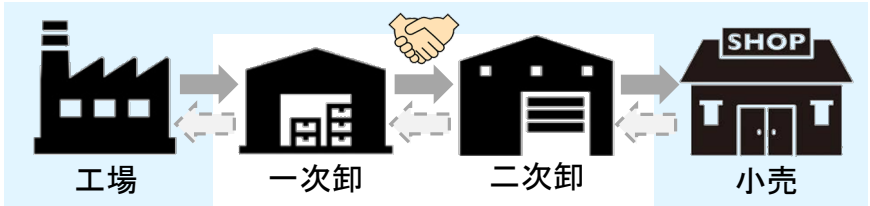
- Dominguez et al. (2018)はサプライチェーン内で部分的にでも情報共有を行うことの有効性を証明した

仮説3: 中央集権型による全体協力よりも部分的協力の有効性が高い

- Ponte et al. (2017)は，どの条件下においても最適な戦略はサプライチェーン全体で同様の戦略を用いた場合ではないことを証明した
- 全体での協力よりも部分的協力の方が有効性が高いと考えられる

シミュレーション実験

各シナリオにおける最適戦略

企業の協力体制		最適戦略
上流		戦略タイプB
下流		戦略タイプA
内側		戦略タイプA
外側		戦略タイプB ※

表．ケース1における最適戦略

最終需要の変動幅	企業の協力体制 上流	下流	内側	外側
U[70, 90]	タイプB	タイプA	タイプA	タイプB
U[60, 100]	タイプB	タイプA	タイプA	タイプB
U[40, 120]	タイプB	タイプA	タイプA	タイプB

表．ケース2における最適戦略

最終需要の変動幅	企業の協力体制 上流	下流	内側	外側
U[70, 90]	タイプB	タイプA	タイプA	タイプB
U[60, 100]	タイプB	タイプA	タイプA	**タイプA**
U[40, 120]	タイプB	タイプA	タイプA	**タイプA**

戦略タイプA：移動平均＆高い安全在庫
戦略タイプB：指数平滑＆低い安全在庫

環境や協力パターンの違いに応じて最適戦略の傾向がある

各シナリオの最適戦略

仮説1: 各シナリオで最適な戦略の傾向がある

- Ponte et al. (2017)の分析結果から，最終需要の変動幅など，環境の変化に応じて最適な戦略は異なることが明らかになった
- 協力状況に応じて最適な戦略は異なり，各シナリオで傾向があると考えられる

証明

仮説2: 情報共有を行うことでサプライチェーンのパフォーマンスが向上する

- Dominguez et al. (2018)はサプライチェーン内で部分的にでも情報共有を行うことの有効性を証明した

仮説3: 中央集権型による全体協力よりも部分的協力の有効性が高い

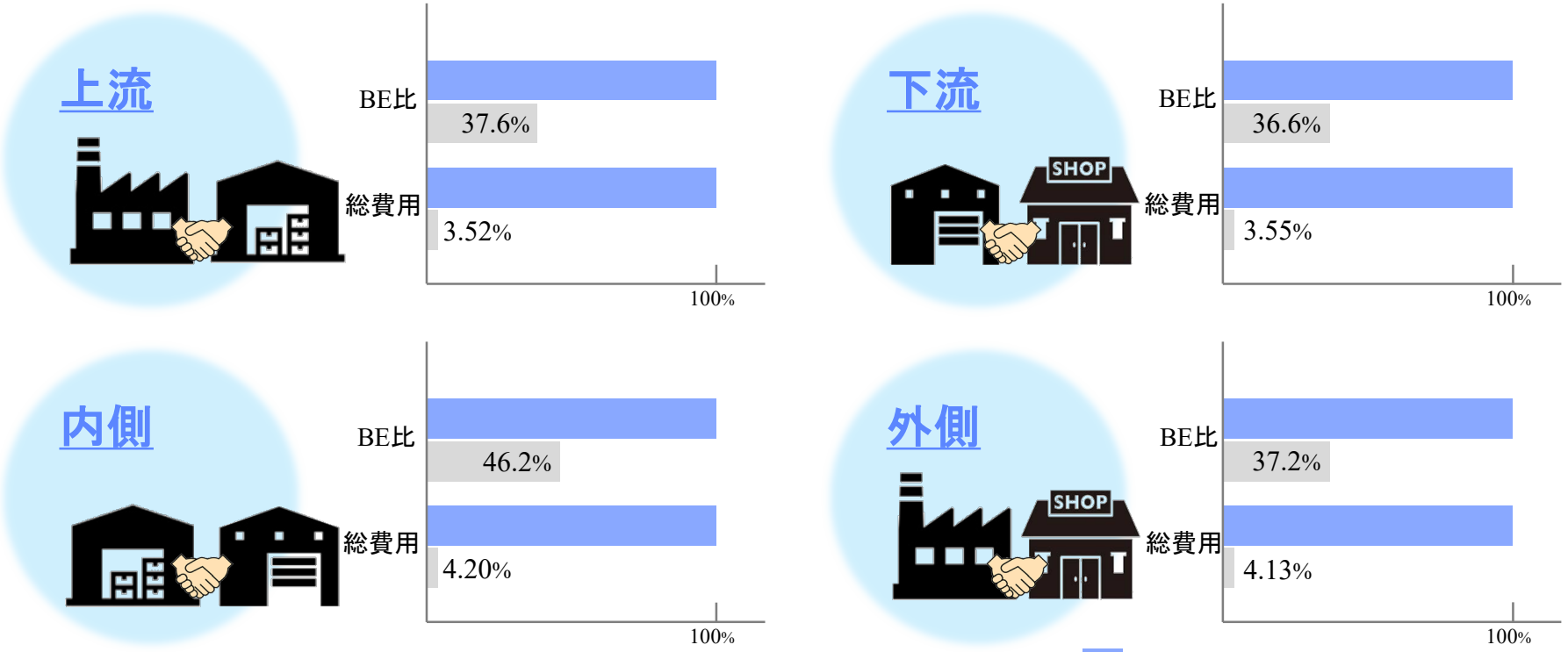
- Ponte et al. (2017)は，どの条件下においても最適な戦略はサプライチェーン全体で同様の戦略を用いた場合ではないことを証明した
- 全体での協力よりも部分的協力の方が有効性が高いと考えられる

部分的情報共有を行うことの効果

情報共有の効果

– 各協力パターンのケース1, 2におけるブルウィップ効果および総費用を比較

➢ どの条件下においてもケース1と比較してケース2の方がブルウィップ効果および総費用が削減されている



※ケース1の数値を100%とした場合の数値をグラフに表す

部分的情報共有を行うことの効果

仮説1: 各シナリオで最適な戦略の傾向がある

- Ponte et al. (2017)の分析結果から，最終需要の変動幅など，環境の変化に応じて最適な戦略は異なることが明らかになった
- 協力状況に応じて最適な戦略は異なり，各シナリオで傾向があると考えられる

証明

仮説2: 情報共有を行うことでサプライチェーンのパフォーマンスが向上する

- Dominguez et al. (2018)は，サプライチェーン内で部分的にでも情報共有を行うことの有効性を証明した

証明

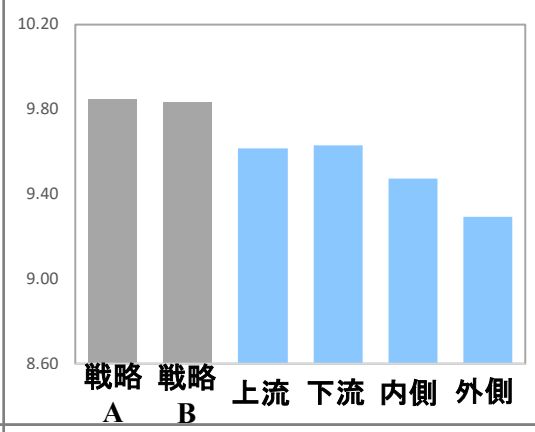
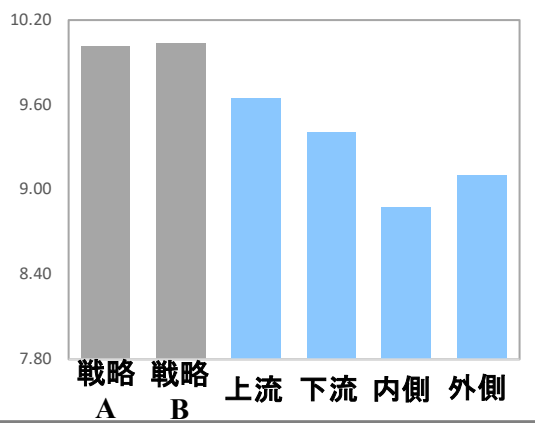
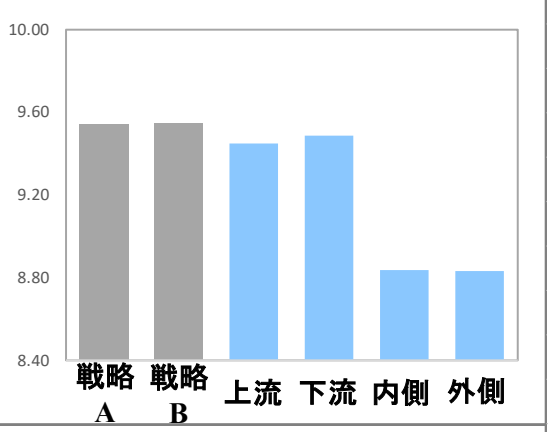
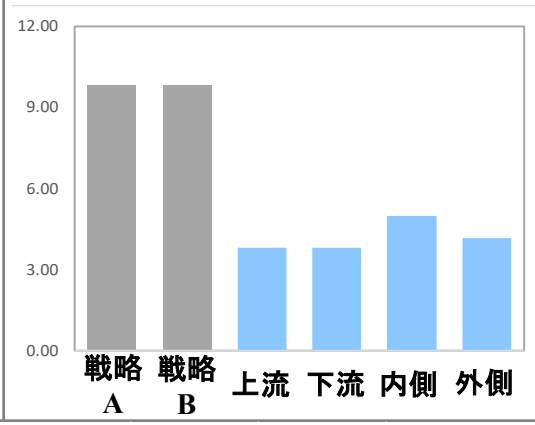
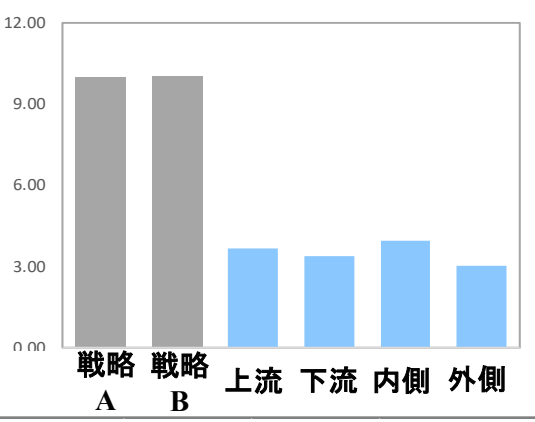
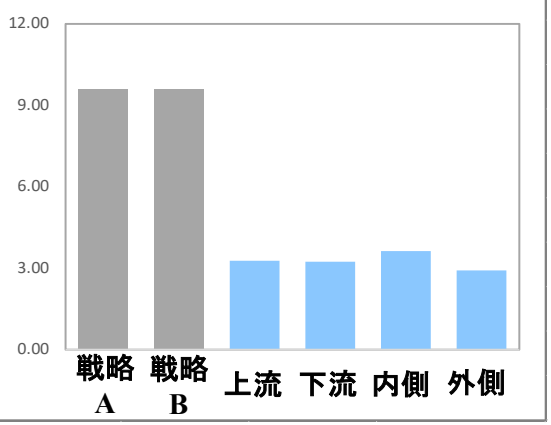
仮説3: 中央集権型による全体協力よりも部分的協力の有効性が高い

- Ponte et al. (2017)は，どの条件下においても最適な戦略はサプライチェーン全体で同様の戦略を用いた場合ではないことを証明した
- 全体での協力よりも部分的協力の方が有効性が高いと考えられる

部分的協力の効果：ブルウィップ効果

中央集権型
部分的協力型

低 ← 最終需要の変動幅 → 高

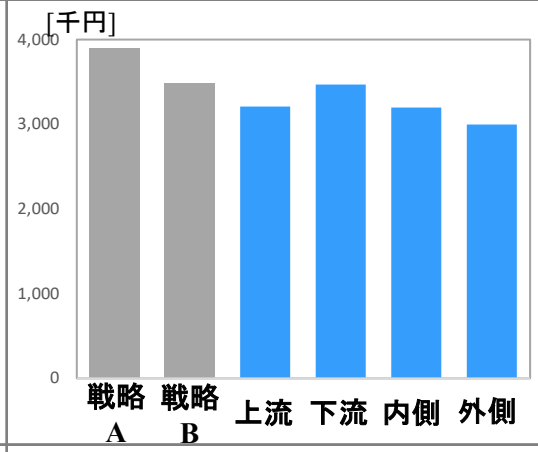
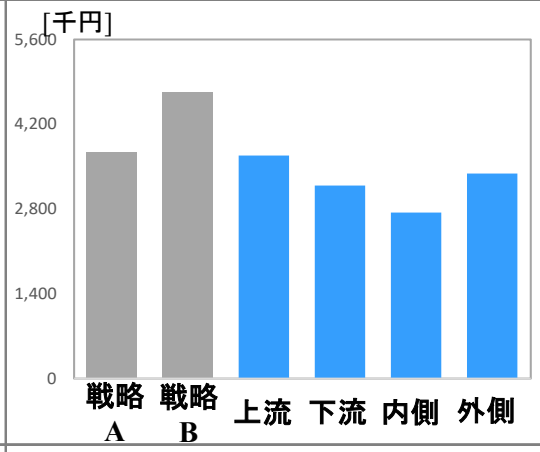
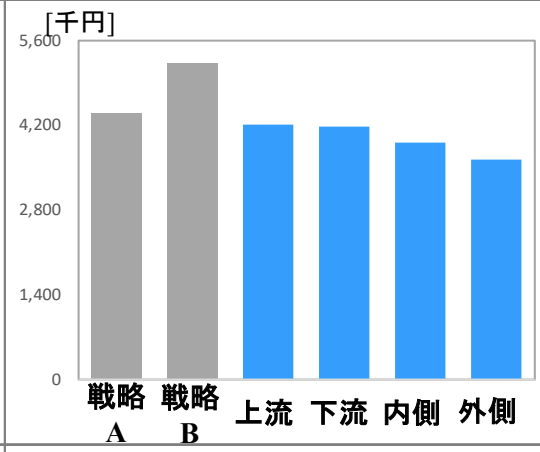
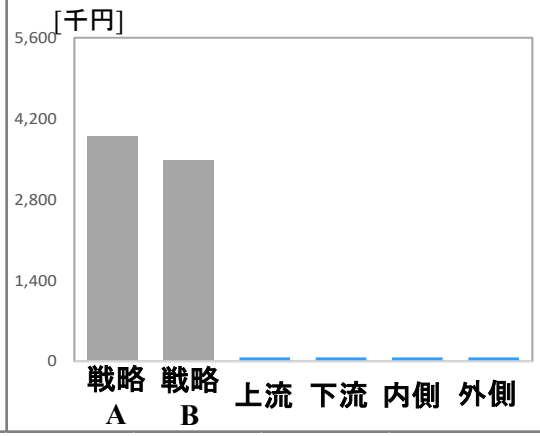
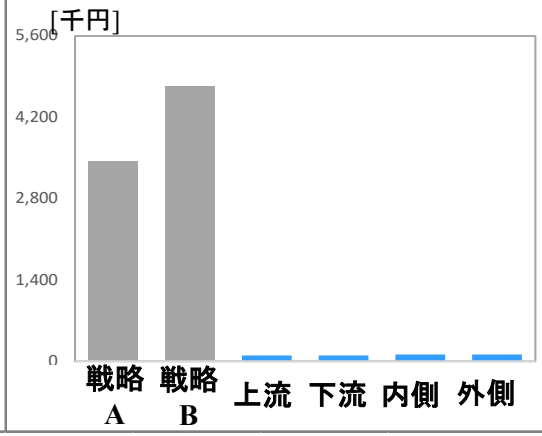
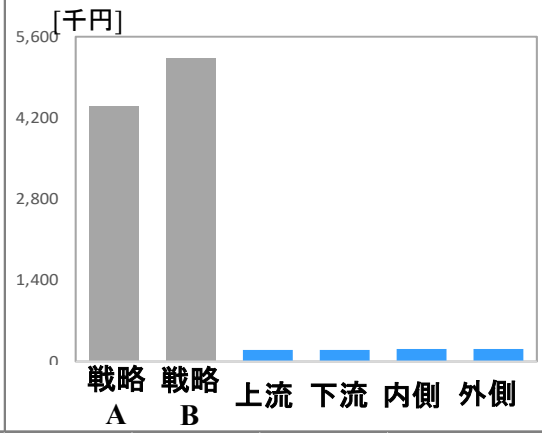
	U[70, 90]	U[60, 100]	U[40, 120]
ケース1 戦略の共通化			
ケース2 戦略の共通化＋情報共有			

サプライチェーン全体で協力する中央集権型よりも
最適戦略を用いて部分的協力を行う方がブルウィップ効果を抑制する

部分的協力の効果：総費用

中央集権型
部分的協力型

低 ← 最終需要の変動幅 → 高

	U[70, 90]	U[60, 100]	U[40, 120]
ケース1 戦略の共通化			
ケース2 戦略の共通化 ＋ 情報共有			

ブルウィップ効果同様，中央集権型と比較して部分的協力型の方が総費用を削減する

部分的協力の効果

仮説1: 各シナリオで最適な戦略の傾向がある

- Ponte et al. (2017)の分析結果から，最終需要の変動幅など，環境の変化に応じて最適な戦略は異なることが明らかになった
- 協力状況に応じて最適な戦略は異なり，各シナリオで傾向があると考えられる

仮説2: 情報共有を行うことでサプライチェーンのパフォーマンスが向上する

- Dominguez et al. (2018)は，サプライチェーン内で部分的にでも情報共有を行うことの有効性を証明した

仮説3: 中央集権型による全体協力よりも部分的協力の有効性が高い

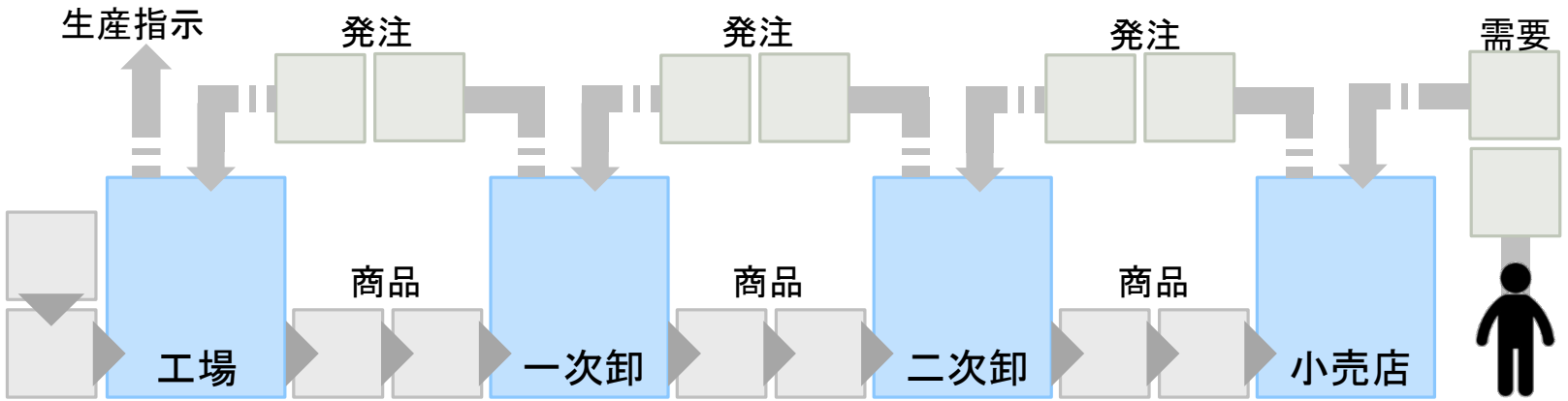
- Ponte et al. (2017)は，どの条件下においても最適な戦略はサプライチェーン全体で同様の戦略を用いることはないことを証明した
- 全体での協力よりも部分的協力の方が有効性が高いと考えられる

ビールゲームとは

ビールゲーム

– 4人のプレーヤーがサプライチェーン内の企業に扮して発注行動を行うゲーム

- 実際にプレーヤーが意思決定を行うゲームであるため，実際の現場に有効な方策の分析が可能
- 本研究ではMASの実験結果を用いてビールゲームによる実証実験を行い，最適な戦略を用いた部分的協力の有効性を証明



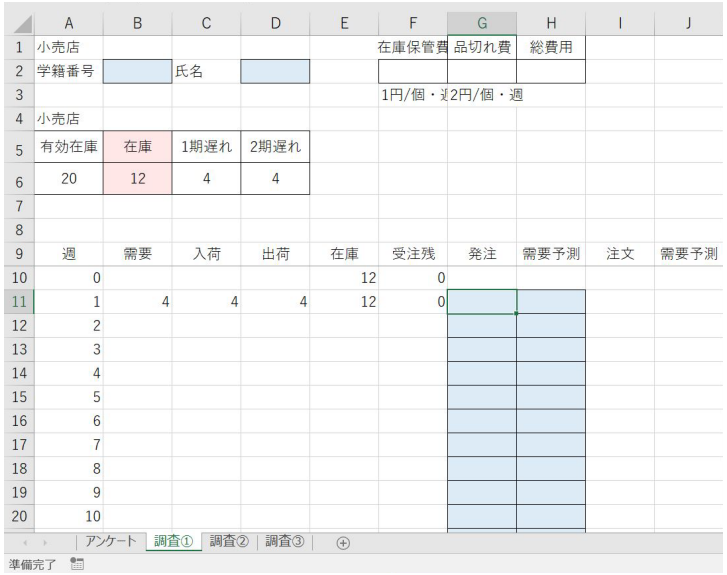
実験計画:ビールゲーム実験前の準備

□ 戦略タイプ診断テスト

– ビールゲームではMASと同様の戦略タイプを用いて実験する

➢ ビールゲーム被験者に対して実験前に**戦略タイプ診断テスト**(1段階のサプライチェーンの発注行動)を行い，被験者の戦略タイプを分類する

➢ テスト結果をもとに4人グループを編成し，ビールゲーム実験を行う



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	小売店					在庫保管費	品切れ費	総費用		
2	学籍番号		氏名							
3						1円/個・週	2円/個・週			
4	小売店									
5	有効在庫	在庫	1期遅れ	2期遅れ						
6	20	12	4	4						
7										
8										
9	週	需要	入荷	出荷	在庫	受注残	発注	需要予測	注文	需要予測
10	0				12	0				
11	1	4	4	4	12	0				
12	2									
13	3									
14	4									
15	5									
16	6									
17	7									
18	8									
19	9									
20	10									

アンケート 調査① 調査② 調査③
準備完了

図. 事前調査のExcelシート

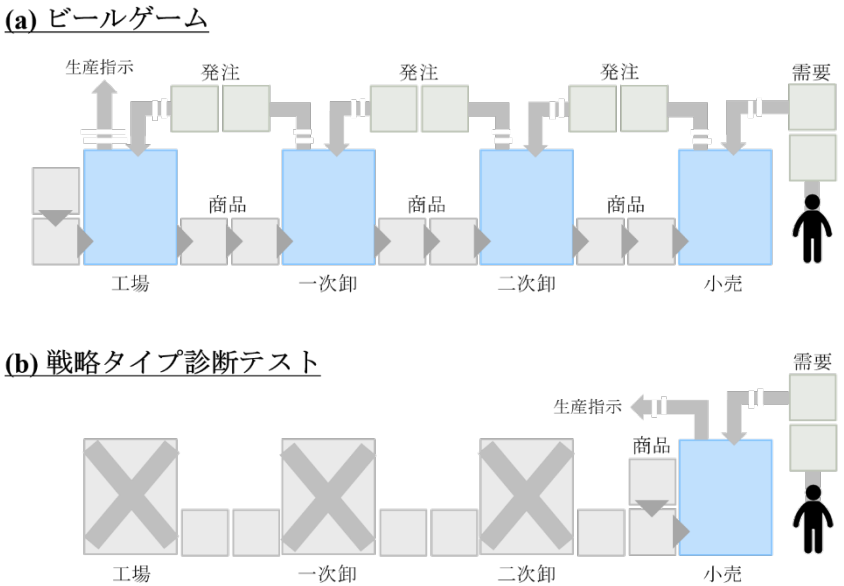


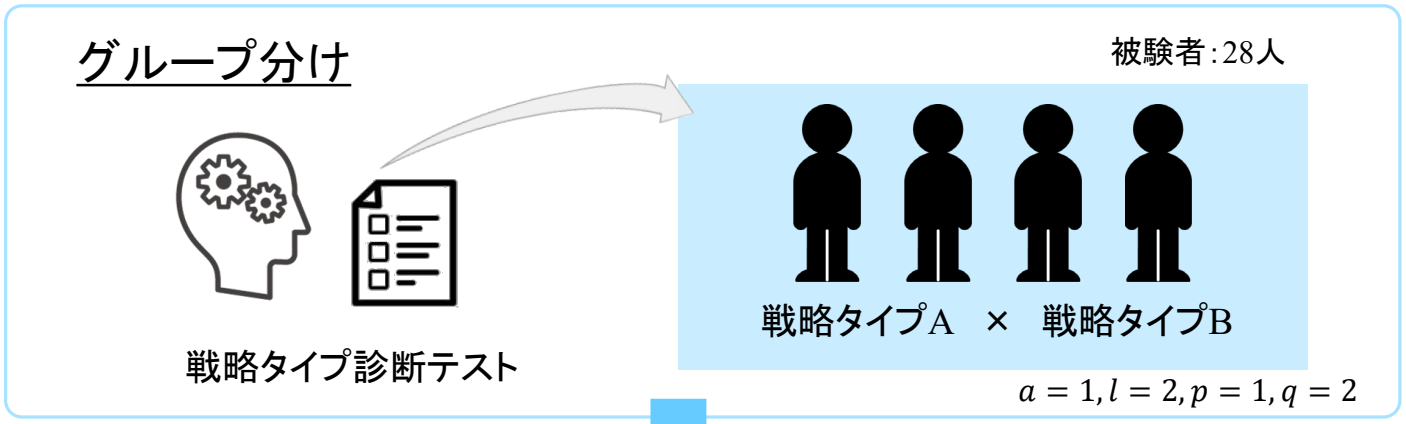
図. 戦略タイプ診断テストのイメージ

※実験はMicrosoft Office Excelを用いたオンライン上で行う

実験計画：ビールゲーム実験手順

ビールゲームによる実証実験

ー 40期の実験を3回行い，部分的協力の効果を分析



ブルウィップ比率および総費用の算出

※②③では戦略タイプに応じて
被験者に対して担当企業を指定

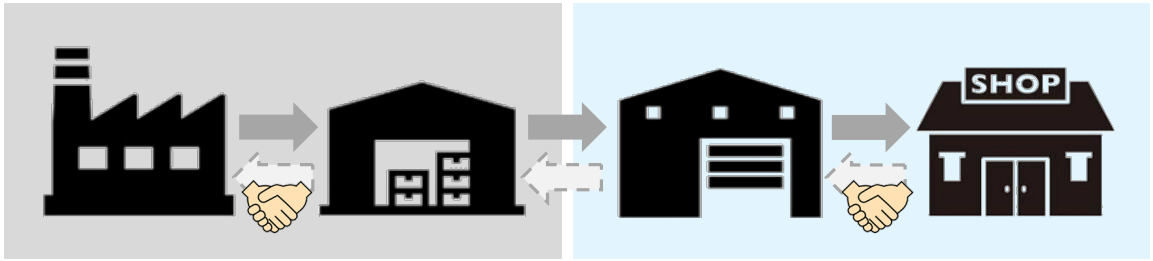
実験計画：協力パターン

□ 実験シナリオ

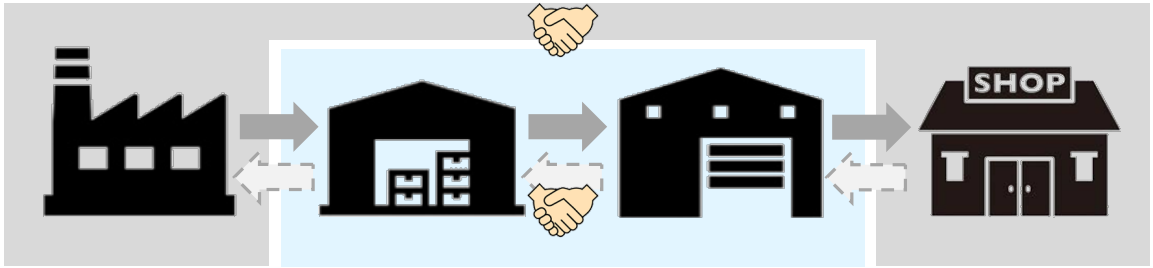
－ 本研究では需要変動幅の大きさを変更した2セットのビールゲーム実験を行う

➢ シミュレーション結果に基づき，下記の協力パターンと最適戦略を用いる

実験1　需要変動幅：小



実験2　需要変動幅：大



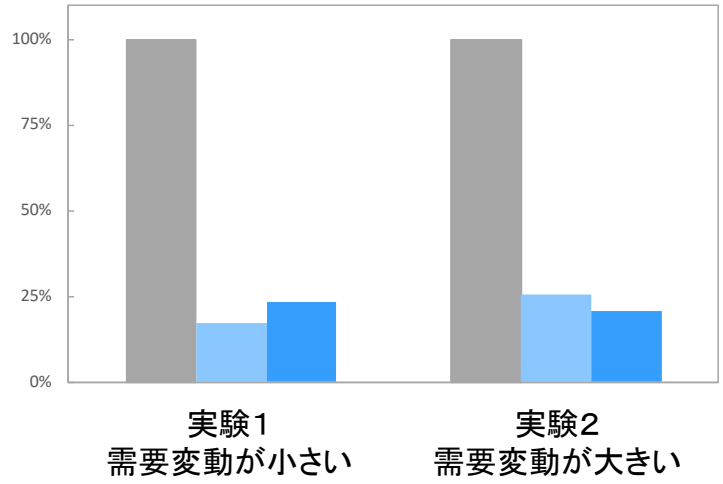
実験結果：現場での効果の検証

※自由に戦略を戦略した場合の数値を100%とした場合の結果

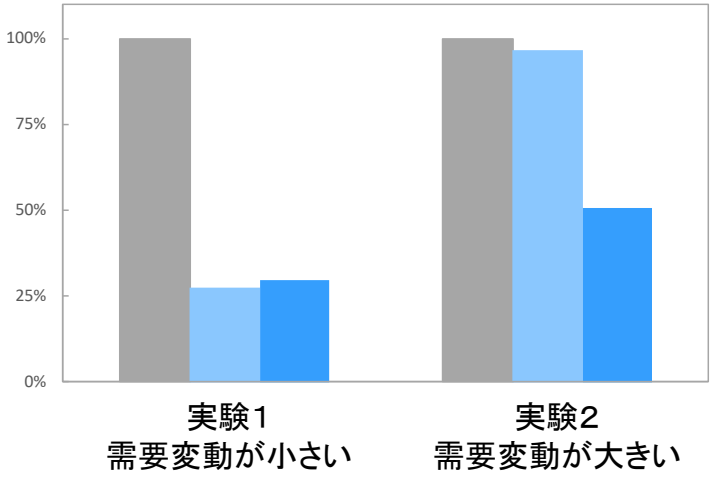
ビールゲーム実験結果

自由に戦略を選択した場合
戦略の共通化
戦略の共通化，情報共有

ブルウィップ比率



総費用



結果

- シミュレーションの結果に基づいた最適戦略を用いて戦略の共通化や情報共有を行うことで全体のパフォーマンス向上に効果がある
- MASの実験結果が実際の現場でも有効な戦略であることが証明された

企業は状況や環境に合わせて部分的な協力を行うことが重要

本研究のまとめ

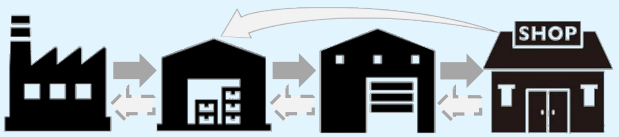
多段階サプライチェーンにおけるブルウィップ効果や総費用を削減したい

提案1

発注・在庫の「戦略」を企業間で共有

提案2

一部の企業間で需要情報を共有



学術的意義	自律分散型モデルを用いて企業戦略の傾向を考慮した分析を行うことの有効性が示された
現場への貢献	各企業は立場や状況に応じて他社と適切な戦略を用いた部分的な協力体制を築くことでパフォーマンスを向上させることができる

今後の課題

- 多くの条件や適切な戦略のタイプにおける効果について検証する
- より複雑な多段階サプライチェーンモデルにおける分析を行う

参考文献

[1] Forrester, Jay W. "Industrial Dynamics. A major breakthrough for decision makers." Harvard business review, Vol.36, No.4, pp.37-66. (1958).

[2] Lee, H. L., Padmanabhan, V., and Whang, S. "The bullwhip effect in supply chains." Sloan management review, Vol.38, pp.93-102. (1997).

[3] Lee, H. L., Padmanabhan, V., and Whang, S. "Information distortion in a supply chain: The bullwhip effect." Management science Vol.43, No.4, pp.546-558. (1997).

[4] Wang, X., and Disney, S. M. "The bullwhip effect: Progress, trends and directions." European Journal of Operational Research, Vol.250, No.3, pp.691-701. (2016).

[5] 鈴木定省, 三島理, 圓川隆夫. 定期発注方式を用いたサプライチェーンにおけるブルウィップ効果の定量化に関する研究. 日本経営工学会論文誌, Vol.56, No.3, pp.147-154. (2005).

[6] Croson, R., Donohue, K., Katok, E., and Sterman, J. "Order stability in supply chains: coordination risk and the role of coordination stock." Prod Oper Manag, Vol.23.2, pp.176-196. (2014).

[7] Ribeiro, J. P., and Barbosa-Povoa, A. "Supply Chain Resilience: Definitions and quantitative modelling approaches – A literature review." Computers & Industrial Engineering, Vol.115, pp.109-122. (2018).

[8] Chen, F., Drezner, Z., and Ryan, J. K., "Quantifying the bullwhip effect in a simple supply chain: The impact of forecasting, lead times, and information." Management science, Vol.46, No.3, pp.436-443. (2000).

[9] Chen, F., Ryan, J. K., and Simchi-Levi, D. "The impact of exponential smoothing forecasts on the bullwhip effect." Naval Research Logistics (NRL), Vol.47, No.4, pp.269-286. (2000).

[10] Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., Simchi-Levi, E., and Shankar, R. "Designing and managing the supply chain: concepts, strategies and case studies." Tata McGraw-Hill Education, (2008).

[11] Bhattacharya, R., and Bandyopadhyay, S. "A review of the causes of bullwhip effect in a supply chain." The International Journal of Advanced Manufactur-ing Technology, Vol.54, No.9, pp.1245-1261. (2011).

[12] Trapero, J. R., Kourentzes, N., and Fildes, R. "Impact of information exchange on supplier forecasting performance." Omega, Vol.40, No.6, pp.738-747. (2012).

參考文獻

[13] Jakšič, M., and Rusjan, B. "The effect of replenishment policies on the bullwhip effect: A transfer function approach." European Journal of Operational Research, Vol.84, No.3, pp.946-961. (2008).

[14] Ponte, B., Sierra, E., de la Fuente, D., and Lozano, J. "Exploring the interaction of inventory policies across the supply chain: An agent-based approach." Computers & Operations Research, Vol.78, pp.335-348. (2017).

[15] Dominguez, R., Cannella, S., Barbosa-Póvoa, A. P., and Framinan, J. M. "OVAP: A strategy to implement partial information sharing among supply chain retailers." Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol.110, pp.122-136. (2018).

[16] Khan, M. H., Ahmed, S., and Hussain, D. "Analysis of bullwhip effect: a behavioral approach." Supply Chain Forum: An International Journal. Taylor & Francis, Vol.20, No.4, pp.310-331. (2019).

[17] Di Mauroa, C., Ancarania, A., Schuppb, F., and Croccoa, G., "Risk aversion in the supply chain Evidence from replenishment decisions." Journal of Purchasing and Supply Management, Vol.26, No.4, 100646. (2020).

[18] Yoon, S. W., Matsui, M., Yamada, T., and Nof, S. Y. "Analysis of effectiveness and benefits of collaboration modes with information-and knowledge-sharing." Journal of Intelligent Manufacturing, Vol.22, No.1, pp.101-112. (2011).

[19] Shnaiderman, M., and El Ouardighi, F. "The impact of partial information sharing in a two-echelon supply chain." Operations Research Letters, Vol.42, No.3, pp.234-237. (2014).

[20] Ganesh, M., Raghunathan, S., and Rajendran, C. "The value of information sharing in a multi-product, multi-level supply chain: Impact of product substitution, demand correlation, and partial information sharing." Decision Support Systems, Vol.58, pp.79-94. (2014).

[21] Abdullah, Z. and Musa, R. "The Effect of Trust and Information Sharing on Relationship Commitment in Supply Chain Management." Procedia - Social and Behavioral Sciences, Vol.130, No.15, pp.266-272. (2014).

[22] Disney, S. M., Farasyn, I., Lambrecht, M., Towill, D. R., and Van de Velde, W. "Taming the bullwhip effect whilst watching customer service in a single supply chain echelon." European Journal of Operational Research, Vol.173, No.1, pp.151-172. (2006).

[23] Cannella, S., Barbosa-Póvoa, A. P., Framinan, J. M., and Relvas, S. "Metrics for bullwhip effect analysis." Journal of the Operational Research Society, Vol.64, No.1, pp.1-16. (2013).