



# “Implications of Integrating Sustainability on Supply Chain Network Design Decisions” に対するコメント

東京工業大学  
工学院 経営工学系  
准教授 鈴木定省

# 経済活動と持続可能な社会との共生

## 【環境】

- DfE (Design for Environment; 環境対応設計)

## 【リスク】

- BCP (Business Continuity Planning; 事業継続性計画)
- Resiliency (弾性力、回復力)

## 【社会】

- CSR (Corporate Social Responsibility; 企業の社会的責任)
- Sustainability (持続可能性)
- SDGs (Sustainable Development Goals; 持続可能な開発目標)



# 経済活動と持続可能な社会との共生

- 世界経済フォーラムによるリスク評価

- ・ 発生の可能性
- ・ 影響のおきさ

- 経済活動に対するリスク

経済面主体



環境・社会問題へ

## 発生の可能性が高いグローバルリスクの上位5位

	2007	2008		2019	2020
1位	インフラの故障	資産価格の暴落		異常気象	異常気象
2位	慢性疾患	中東の不安定		気候変動対策の失敗	気候変動対策の失敗
3位	石油価格の急激な高騰	国家破綻および危機	...	自然災害	自然災害
4位	中国経済のハードランディング	石油価格の急激な高騰		データの不正利用	生物多様性の喪失
5位	資産価格の暴落	慢性疾患		サイバー攻撃	人為的な環境災害

## 影響が大きいグローバルリスクの上位5位

	2007	2008		2019	2020
1位	資産価格の暴落	資産価格の暴落		大量破壊兵器	気候変動対策の失敗
2位	グローバル化の抑制	グローバル化の抑制		気候変動対策の失敗	大量破壊兵器
3位	国家間の戦争や内戦	中国経済のハードランディング	...	異常気象	生物多様性の喪失
4位	パンデミック	石油価格の急激な高騰		水危機	異常気象
5位	石油価格の急激な高騰	パンデミック		自然災害	水危機

■ 経済 ■ 環境 ■ 地政学 ■ 社会 ■ テクノロジー

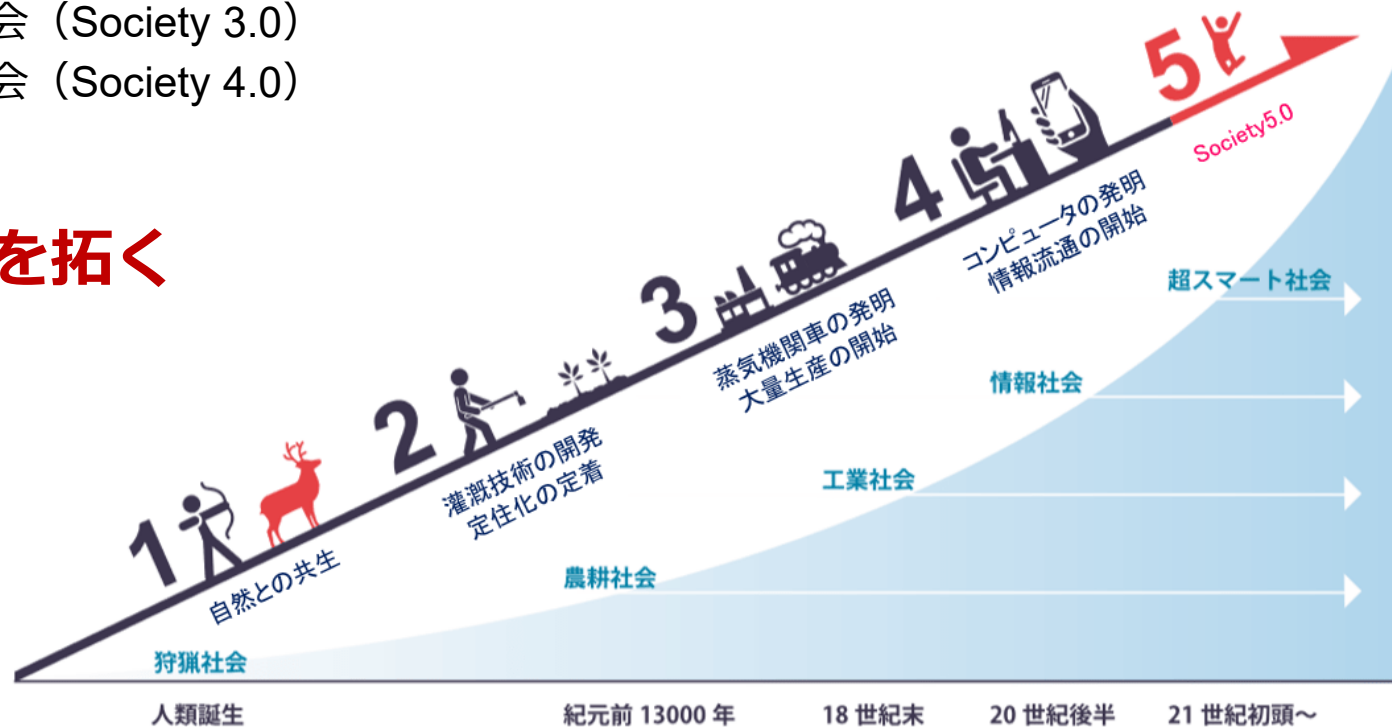
# テクノロジーによる社会課題の解決

## • Society 5.0（経団連）

- AIやIoT、ロボット、ビッグデータなどの革新技術をあらゆる産業や社会に取り入れることによりする実現する新たな未来社会の姿

- 狩猟社会（Society 1.0）
- 農耕社会（Society 2.0）
- 工業社会（Society 3.0）
- 情報社会（Society 4.0）

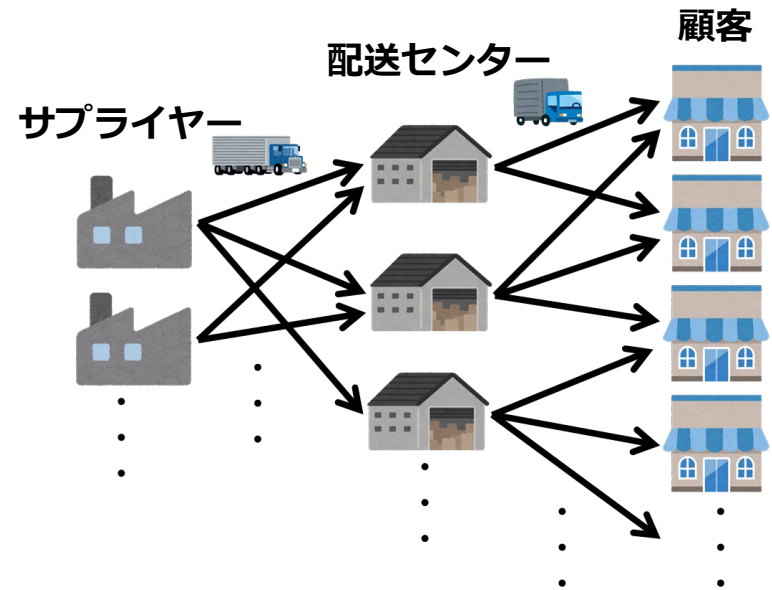
## • 技術が未来を拓く



# 本研究の概観

- 3段階のサプライチェーンを対象
- サステナビリティにおける3つの視点から顧客需要を満たすための配送オペレーションを評価

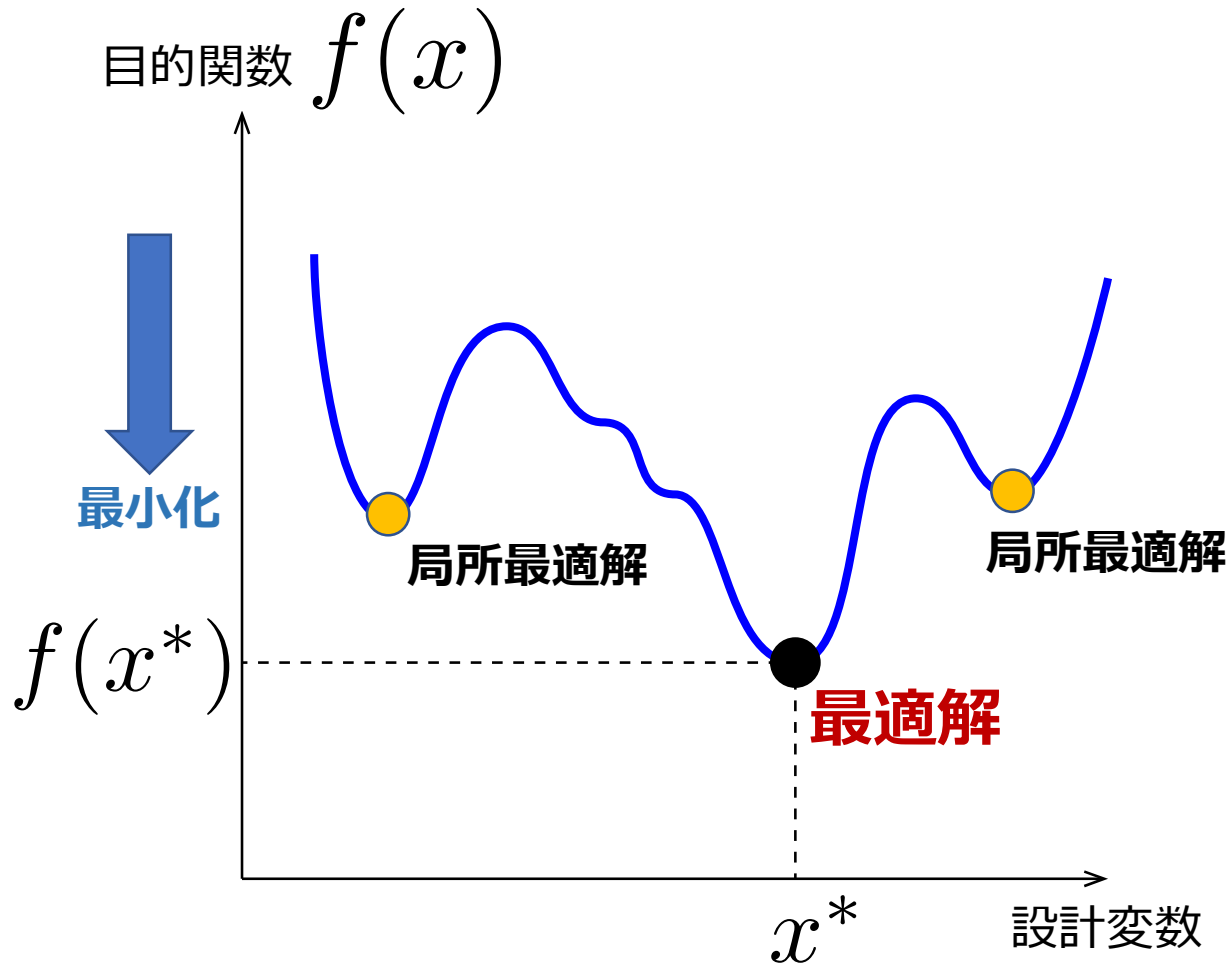
1. 経済
2. 環境
3. 社会



- 複数の目的関数を扱う**多目的最適化問題**という**数理最適化技術**を用いてサプライチェーン構築時の設計指針に関する示唆を与えることを目的とした意義ある研究

# 目的関数が単一の場合の最適化

- 与えられた条件の下で目的関数を最適化（最大化もしくは最小化）する解を探る



# 目的関数が複数の場合の最適化

- 100個の製品を3店舗に分配する場合を考える
  - 各店舗は最低10個の製品を仕入れることが可能だが、なるべく多く仕入れたい
- どのように配分すれば良いだろうか？

## 多目的最適化問題

【店舗1】  
仕入れ量

$x_1$



【店舗2】  
仕入れ量

$x_2$



【店舗3】  
仕入れ量

$x_3$



最大化  
最大化  
最大化  
条件

$$f_1(x) = x_1$$

$$f_2(x) = x_2$$

$$f_3(x) = x_3$$

$$x_1 + x_2 + x_3 \leq 100$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 10$$

# 多目的最適化問題へのアプローチ

- 3つの目的変数についてそれぞれ解いた解がすべて一致していれば問題なくそれが**完全最適解**
- ところが、完全最適解が得られることは非常に**稀**
- 多くの場合「あちらを立てればこちらが立たず」と言った**トレードオフ関係を解消**する必要あり！

【店舗1】  
仕入れ量

$x_1$



【店舗2】  
仕入れ量

$x_2$



【店舗3】  
仕入れ量

$x_3$



最大化  
最大化  
最大化  
条件

$$f_1(x) = x_1$$

$$f_2(x) = x_2$$

$$f_3(x) = x_3$$

$$x_1 + x_2 + x_3 \leq 100$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 10$$



# 多目的最適化問題へのアプローチ

## 【アプローチ1】加重平均法

- 目的関数に重み付けを行い単一の目的関数として解く

$$\begin{array}{l} \text{最大化} \\ \text{条件} \end{array} \quad \begin{array}{l} w_1 f_1(x) + w_2 f_2(x) + w_3 f_3(x) \\ x_1 + x_2 + x_3 \leq 100 \\ x_1, x_2, x_3 \geq 10 \end{array}$$

【店舗1】  
仕入れ量

$x_1$



例えば

$$w_1 = 0.6, w_2 = 0.3, w_3 = 0.1$$

とすれば

$$(x_1, x_2, x_3) = (80, 10, 10)$$

が得られる

【店舗2】  
仕入れ量

$x_2$



【店舗3】  
仕入れ量

$x_3$



**重み付けをどう決定するか？  
利用者の価値基準にあった解が得られるか？**

# 多目的最適化問題へのアプローチ

## 【アプローチ2】 $\epsilon$ 制約化法 (← 本研究での方法)

- 目的関数一つを残して、他に（許容範囲としての）境界値を設定して制約条件として解く

【店舗1】  
仕入れ量

$x_1$



【店舗2】  
仕入れ量

$x_2$



【店舗3】  
仕入れ量

$x_3$



$$\begin{aligned} \text{最大化} & f_1(x) = x_1 \\ \text{条件} & x_1 + x_2 + x_3 \leq 100 \\ & x_1, x_2, x_3 \geq 10 \\ & x_2 \geq \epsilon_2 \\ & x_3 \geq \epsilon_3 \end{aligned}$$

例えば目的関数として  $f_1(x)$  を残し、

$$\epsilon_2 = 30, \epsilon_3 = 20$$

とすれば

$$(x_1, x_2, x_3) = (50, 30, 20)$$

が得られる

# 本研究におけるモデル化

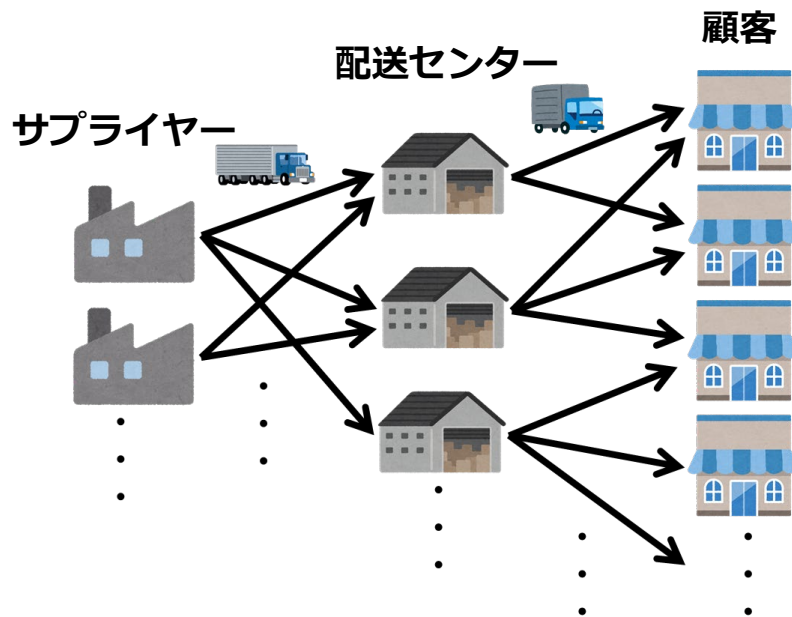
- 与えられた14拠点の顧客に対し製品を配送する多段階サプライチェーンにおいて、

1. トータルコスト最小化（経済）
2. CO<sub>2</sub> 排出量最小化（環境）
3. 販売機会損失最小化（社会）

の3つを目的関数とする多目的最適化問題を解くことによって  
配送センターの

- 拠点設置数
- ロケーション
- 利用するサプライヤー

に関する解を導き、  
サプライチェーンの構築・設計に  
対する知見・示唆を導こうとした  
ものと捉えられる



# 本研究における多目的最適化問題

最小化	トータルコスト
最小化	CO <sub>2</sub> 排出量
最小化	販売機会損失数

## 【仮定】

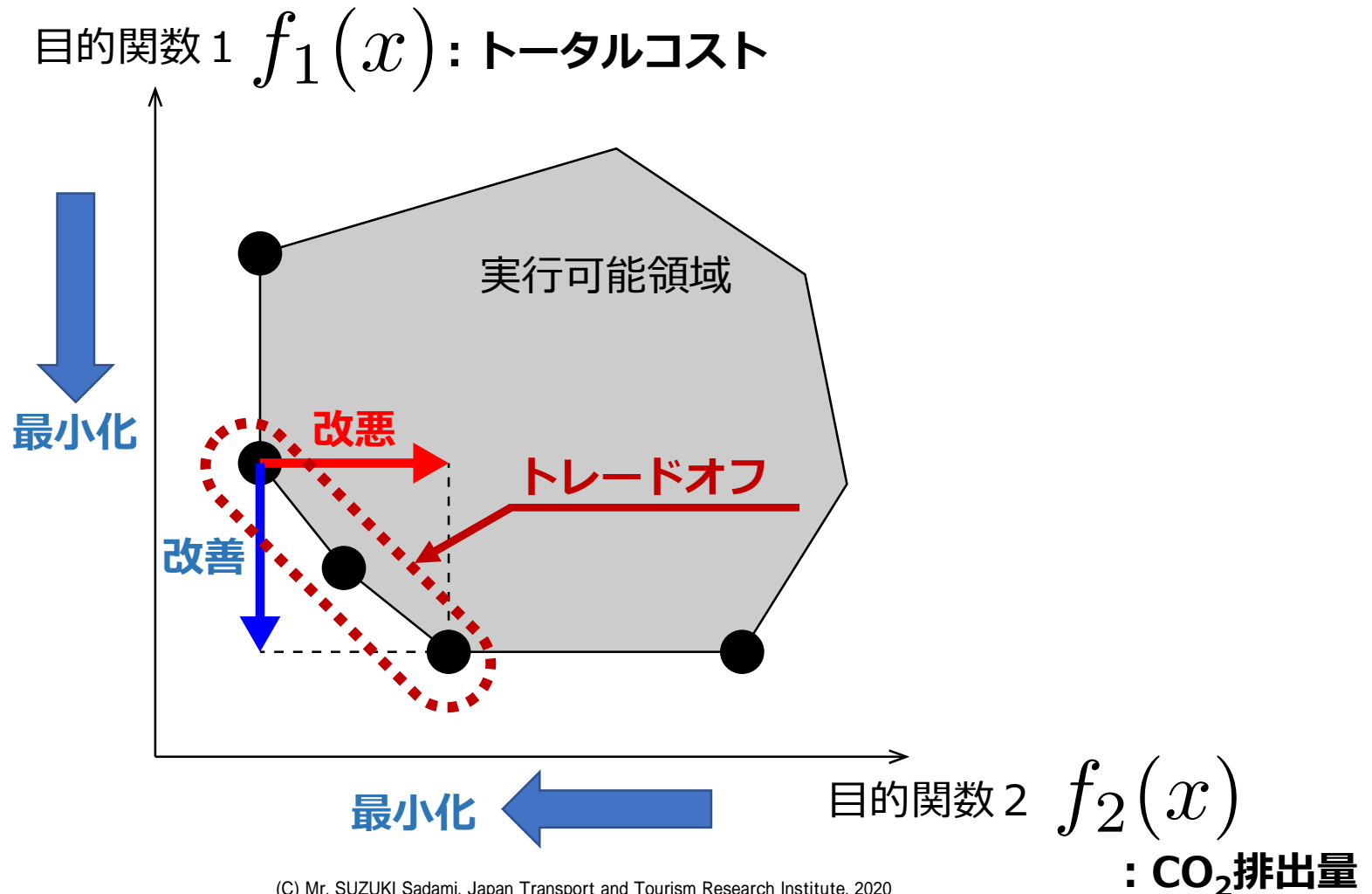
- 単一の製品
- サプライヤーと配送センターのキャパシティーは可変
- 段階ごとの配送に依存したCO<sub>2</sub> 排出量
- 最大積載量での配送

## 【条件】

- 配送途中でのロスなし
- サプライヤー、配送センターともにキャパシティーを超える出荷はしない
- 配送センターからは需要を超える出荷はしない

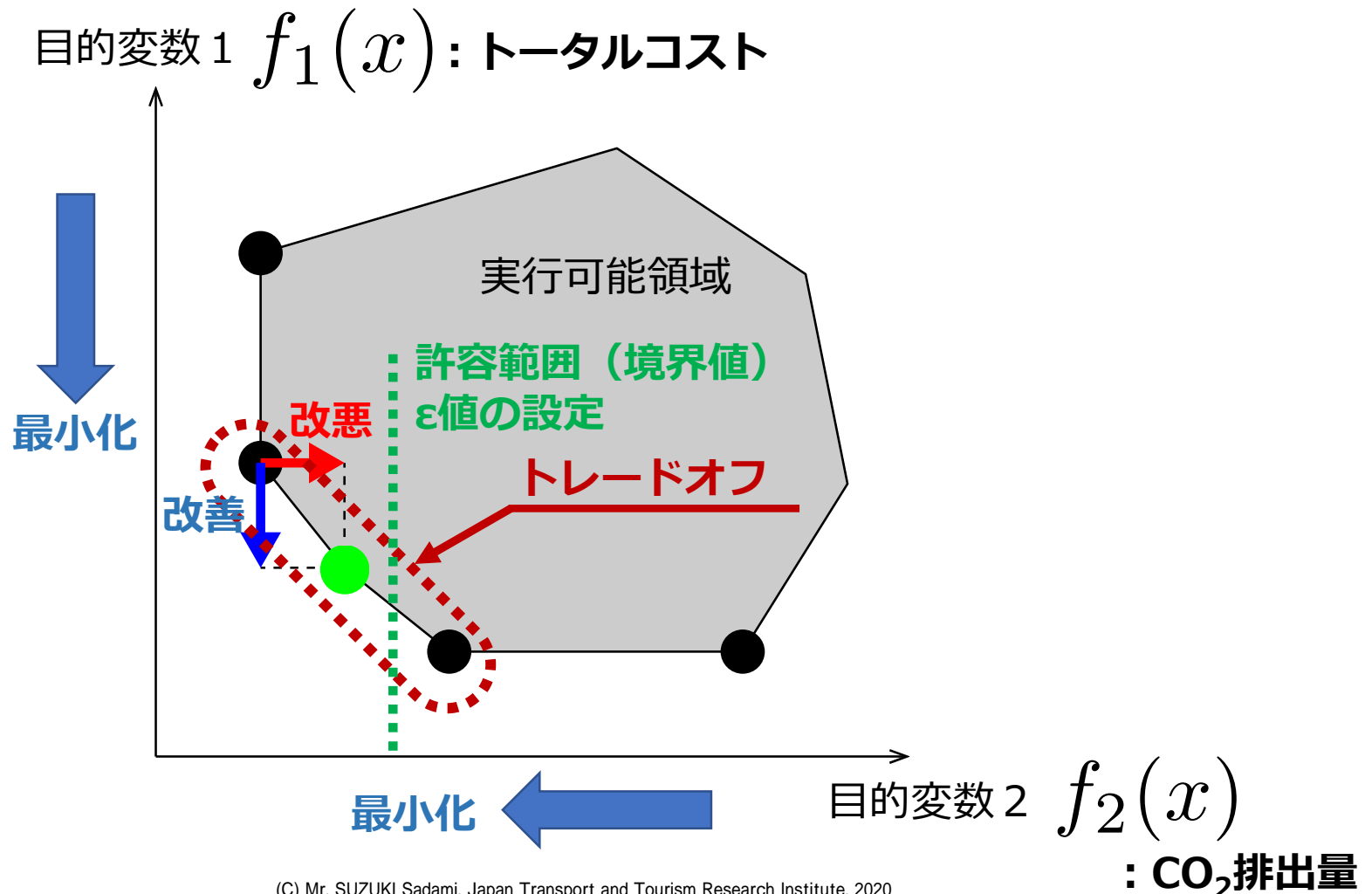
# トレードオフ関係の解消

- あちらを立てればこちらが立たず
  - トレードオフ関係を解消するための指針が必要



# トレードオフ関係の解消

- 目的関数を一つ残しもう一方に許容範囲を設定することでトレードオフの解消へ



# 本研究における多目的最適化問題へのアプローチ

最小化	トータルコスト
最小化	CO <sub>2</sub> 排出量
最小化	販売機会損失数

## 【Option 1】

- トータルコスト最小化を目的としたモデルに基づく解

## 【Option 2】

- トータルコストを目的関数に残し、**CO<sub>2</sub>排出量を境界値 $\epsilon_2$ 以下**として制約条件に加えたモデルに基づく解

## 【Option 3】

- トータルコストを目的関数に残し、**CO<sub>2</sub>排出量を境界値 $\epsilon_2$ 以下、販売機会損失数を $\epsilon_3$ 以下**として制約条件に加えたモデルに基づく解

# 本研究の有用性と限界点

---

## 【有用性】

- サステナビリティの観点から（いずれも限定的ではあるものの）コスト面だけでなく、環境面、社会面といった3つの視点を考慮したモデルの構築
- 初期段階でのサプライチェーンの構築に際し、3つの視点間のトレードオフ関係の存在を明らかにし、設計指針を明示

## 【限界点】

- 限られたパラメータ設定の解であること
  - パラメータ設定に依存したトレードオフ関係
- 単一期間問題であることから、サプライチェーンにおける変動（内なる変動、外なる変動）への対応に関する知見が得にくい



# 質問

---

- 目的関数の妥当性について（とくに社会面）
- 数値実験における各変数（需要やキャパシティー）の設定の仕方と妥当性について
- 多目的最適化問題を解く際の境界値 $\varepsilon_2$ 、 $\varepsilon_3$ の設定の根拠と妥当性について
- 目的変数として残す関数を変えた場合の結果について
- 多期間を考慮した需要変動に対する対応や複数の配送方法に関する拡張可能性について

# 私見

- IMDによる国際競争力ランキングで日本は34位と1997年以降、最低順位
  - シンガポール(1)、香港(5)、台湾(11)、中国(20)、韓国(23)、マレーシア(27)、タイ(29)
- 上記ランキングとも相関があるとされているROAも米国企業の平均約6%に対し、日本企業は約3%
- 日本ではSCMは**コスト削減のための管理手法**との位置付けが依然として色濃い？
- **顧客価値**創造、市場動向（顧客ニーズや需要変動）に対する対応力強化により、費用、資産削減のみならず、サプライチェーンを経営の柱とした売上増への取り組みがサステナビリティの観点からも重要

$$\text{ROA} \uparrow = \frac{\text{売上} \uparrow - \text{費用} \downarrow}{\text{資産} \downarrow}$$