

システム工学

南山大学工学部

システム数理学科

鈴木 敦夫



自己紹介

- 南山大学工学部システム数理学科
(2021年度からデータサイエンス学科に)
- 専門:オペレーションズ・リサーチ(OR)
- 研究分野:最適配置問題、スケジューリング
企業・団体との共同研究 多数
トヨタ紡織、愛知医科大学病院、南山大学、
カーマ ホームセンター など
- システム工学 \approx OR

OR(オペレーションズ・リサーチ)とは

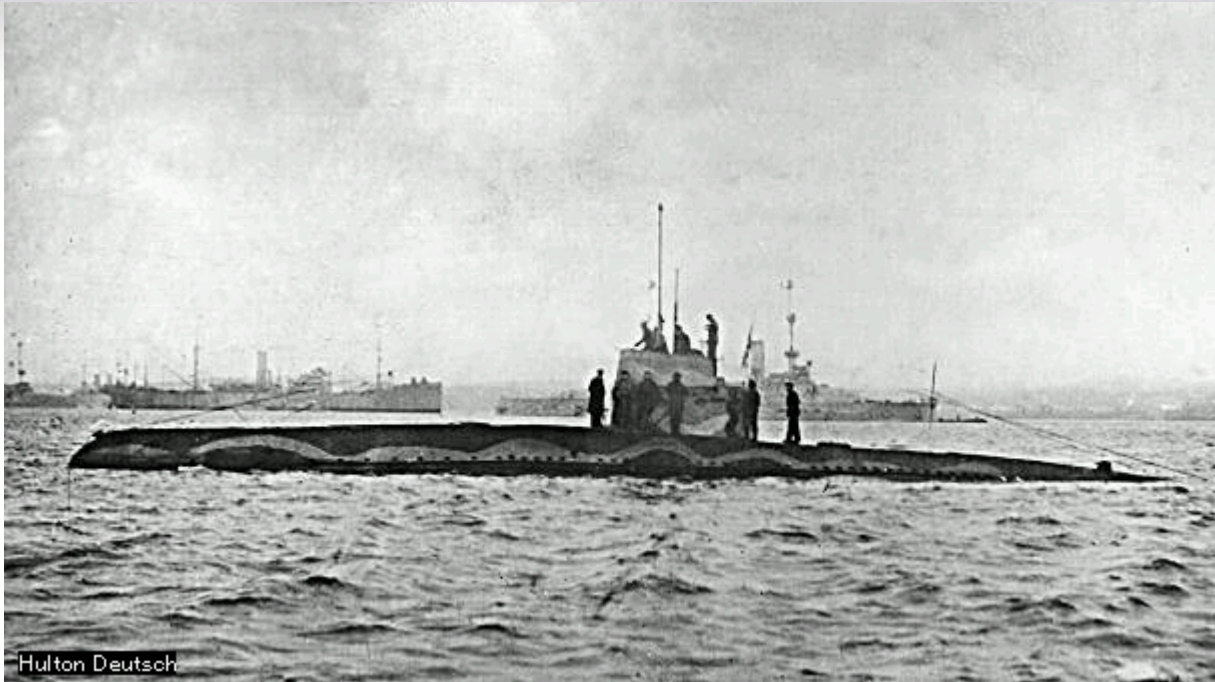
ORの起源

軍事研究としてスタート 1935年にイギリスで実用的なレーダーが開発されると、ドーバー海峡に面した地域に、敵機や敵艦の接近を察知するために配備する計画がたてられた。当時の技術水準では製造できるレーダーに限りがあったため、どのように配備して運用すればもっとも高い効果が期待できるかが、問題になった。**物理学者のブラケット**をはじめとして、さまざまな学問分野の研究者が動員されて、検討が開始された。

その結果、1939年にはじまった第2次世界大戦の初めにはドイツ軍機1機を撃墜するのに、平均して高射砲弾2万発を要していたのが、5分の1程度に減少したといわれる。イギリスでの成果は、アメリカでも関心をあつめ、42年には**大規模なORチーム**がつくられて研究がすすめられた。

"オペレーションズリサーチ" Microsoft(R) Encarta(R) Encyclopedia
2001 (C) 1993-2000 Microsoft Corporation. All rights reserved.

OR(オペレーションズ・リサーチ)とは



第2次世界大戦でもドイツのUボートは連合軍に対して通商破壊戦をしかけ、イギリスを敗北の一步手前までおいこんだ。

"潜水艦" Microsoft(R) Encarta(R) Encyclopedia 2001 (C) 1993-2000 Microsoft Corporation. All rights reserved.

OR(オペレーションズ・リサーチ)とは



爆弾をつんだ戦闘機で、アメリカの戦艦に体当たりする特攻戦法は、**1944年**から組織的に採用されるようになった。特攻隊の攻撃になやまされたアメリカ軍は、この攻撃を「カミカゼ」とよんでおそれた。

"特別攻撃隊の攻撃で炎上する米空母"

Microsoft(R) Encarta(R)
Encyclopedia 2001 (C)
1993-2000 Microsoft
Corporation. All rights
reserved.

オペレーションズ・リサーチ（OR）とは

軍事研究としてスタート

物理学者のパトリック・ブラケットをはじめ、さまざまな学問分野の研究者が動員されて、ORチームが結成され検討が開始された。

事例

護送船団の規模の最適化

対潜哨戒機の塗装の色の決定

航空機搭載型の爆雷の爆発深度の決定

部隊の訓練計画、補給・整備計画の策定

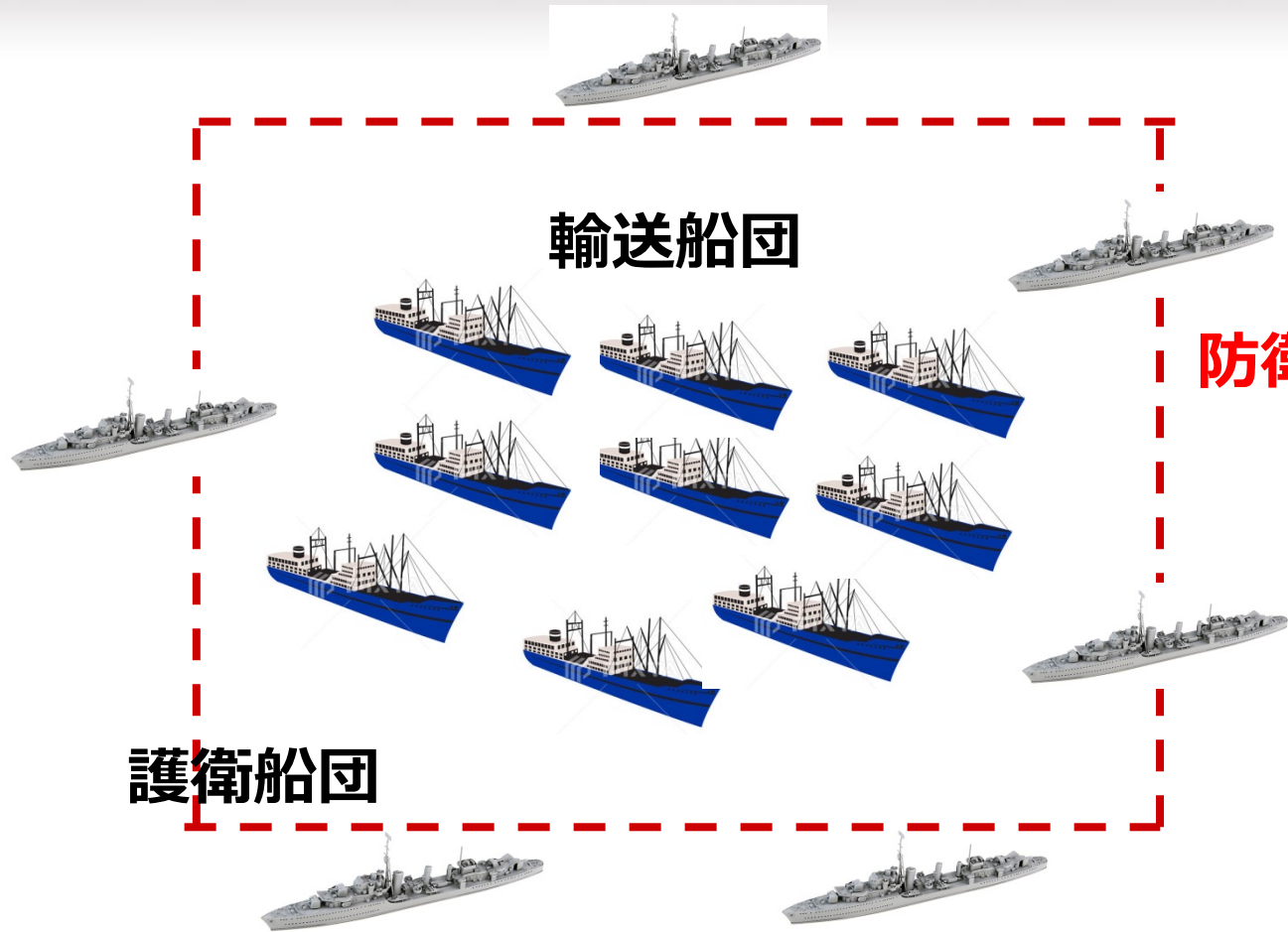
(Wikipediaより抜粋)



護送船団の規模の最適化



Uボート



護送船団の規模の最適化

パトリック・ブラケットの考察

輸送船団の隻数**2倍**、護衛船団の隻数 **2倍**

⇒ 防衛線の長さは $\sqrt{2}$ 倍

⇒ 護衛艦の防衛線上の密度は $\sqrt{2}$ 倍

Uボートは防衛線を突破しにくくなる

効果：1943年3、4月の輸送船の被害35隻、Uボートの損害7隻

1943年5月、輸送船の被害5隻、Uボートの損害10隻

戦後のOR

大戦末期から戦後にかけては、ORが軍事研究だけでなく、**工業や経営計画**にまで広がり、線形計画法、動的計画法、多変量解析、待ち行列理論、PERT/CPM、ゲーム理論などの応用数学の形式が生みだされ、コンピュータを活用した解析がおこなわれるようになっていった。

初期にはすでに、同一の原料や資源から複数の製品を製造できるときに、それぞれの製品をどの程度生産すると利益を最大化できるかとか、複数の地点を巡回するのに、最短時間で完了する経路を探索するといった問題がとりあげられた。

ORにとっては対象となる問題や解決手法には制限がなく、時間、距離、数量といった明らかに数値化できるものから、一定の基準で数値化できるものであれば、満足度や好感度といった感覚的なものまであつかうことができる。**今日では、企業経営の意思決定だけでなく、全地球規模の資源利用などについても応用**されている。学問分野としても、工学をはじめとして、会計学、経営学、経済学など多方面でとりいれられている。



コンピュータの発達

コンピュータの起源

ENIAC(Electronic Numerical Integrator and Computer)は初の完全電子式の大規模汎用(はんよう)のデジタル・コンピューターである。1946年、ペンシルベニア大学でつくられたこのコンピューターは、55年まで使用された。ENIACには約1万8000本の真空管がつかわれたほか、プログラミングごとに手作業で配線しなおす必要があった。

UPI/THE BETTMANN ARCHIVE/Corbis



"ENIAC(エニアック)" Microsoft(R) Encarta(R) Encyclopedia
2001 (C) 1993-2000 Microsoft Corporation. All rights reserved.

コンピュータの発達

1964年、IBMは革命的なコンピュータ、システム360を開発した。これはソフトウェアやシステム機器を交換できる最初のメインフレーム・コンピュータだった。60年代から70年代にかけてIBMは世界のメインフレーム市場を席巻した。

Charles E. Rot/Corbis



コンピュータの発達



Elena Rooraid/Photo Edit/PNI; Robert Frerck/Woodfin Camp and Associates, Inc.; Rick Friedman/Black Star

Elena Rooraid/Photo Edit/PNI;
Robert Frerck/Woodfin Camp
and Associates, Inc.; Rick
Friedman/Black Star

"パーソナルコンピューター"
Microsoft(R)
Encarta(R)
Encyclopedia 2001 (C)
1993-2000 Microsoft
Corporation. All rights
reserved.

パソコンのおかげで、人間の仕事や遊びが大きく変化した。現在では、日常生活のさまざまな場面でパソコンが活躍している。写真はコンピューターの万能性と機能性をしめす。

An OR/MS Approach to the Management of Nanzan Gakuen (Nanzan Educational Complex)

NANZAN
UNIVERSITY

The Science of Better Project

INFORMSが2004年から開始したプロジェクト

- ORを企業にもっと利用してもらおう
- Franz Edelman 賞をプロモート
 - ◆ 華やかな授賞式
 - ◆ アメリカを代表する企業のCEOたち
 - ◆ 過去の受賞者のクラブ



ORの威力

2005年のFranz Edelman Finalist賞受賞者から

- ゼネラルモーターズ:年間21億ドルのコスト削減
- アテネオリンピック実行委員会:7千万ドルの利益
- P&G:2年半で3億ドルのコスト削減
- スィフト:年間1300万ドルの利潤増大

ORの威力

Franz Edleman 賞受賞者

2006 Warner Robins Air Logistics Center

- C-5輸送機の修繕、オーバーホール
 - ◆ 年間5千万ドルの経常経費の節約
 - ◆ 24億ドルの取替えコストの削減

2004 Motorola

- 6億ドルの調達コスト削減

2003 Canadian Pacific Railway

- 1億7千万ドルのコスト削減

学園 Franz Edelman Finalist賞 授賞式



スクールバスプロジェクト

スクールバスの費用削減

- スクールバスの無料化(2002年10月)により大学の費用負担が増大していた
- ほとんど乗客のいないバスを走らせていた

実際に行ったこと

- 需要を把握
- 需要を満たすような仮想的なダイヤを作成
 - **問題点が浮き彫りに**
- 問題点を解決するためのシナリオを作成
 - **山崩し法**

スクールバスプロジェクト

聖霊中学校、高等学校と大学の講義開始時刻
間隔をあと20分ひろげればスクールバスの台数
を5台減らせる

- 大学の講義開始時刻を9:30から9:50に
- スクールバス運行の委託業者との交渉
 - ◆ 事務方が交渉

スクールバスプロジェクトの成果

バス購入費の節約

- 5億1千万円の購入費が必要とされていた
 - ◆ 7千万円の新規購入(4台)
 - ◆ 4億4千万円の買替え(NOXPM法による)(26台)
- **3億4千万円の買替えのみ(20台)**

運行費の節約

- 年間3億4千万円の運行費が必要とされていた
- **年間2億2千万円に削減**

入試監督自動割当システムの作成

手動による割当の問題点

- 手間
 - ◆ 1人が3日間
- 不完全な割り当て
 - ◆ 当日の混乱
- 改善の方法が見つからない

複雑な条件の下での割り当て

割当の条件

- 5日間の試験
- 1日3科目
- 40試験室
- のべ1万2千人の受験者
- 200人以上の監督者
- 多国籍の教員

数理計画法の問題として定式化

第1段階:

- 監督者を試験日、試験時間ごとに割当
→ 輸送問題

第2段階:

- 各試験日、試験時間に割当られた監督者を試験室に割当
→ 貪欲算法

年齢の高い教員ほど負担が軽くなるように

入試監督自動割り当て

成果

- 3日間の作業が
 - ◆ 2004年度:6時間
 - ◆ 2005年度:3時間
 - ◆ 2006年度:30秒
 - ◆ 2007年度:30秒
 - ◇ (実際の作業時間は10分、確認に30分)
 - ◇ 2008年度からは事務職員単独で割当ができるように
- まちがいのない割り当て
- ORの威力を証明

講義開始時間の変更

講義時間開始9時の問題点

- 劣悪な通学の条件
 - ◆ ラッシュの真只中
 - ◆ 遅刻学生
- 低い教室の使用率
- 学生の通学範囲が広がらない

講義開始時間を9時20分に

メリット

- 学生の通学条件の改善
 - ◆ 20分遅らせると乗車率は50%減少
- 教室の使用率の改善
 - ◆ 新しく計画されている教室棟の縮小
- 学生の通学範囲の拡大
 - ◆ 9:20までに大学に到着できる駅の数が増加
→ 「駅すぱあと」を用いて計算

図書館雑誌見直し

問題点

- 雑誌価格の高騰・予算の削減(5%)
- 教員に雑誌の停止を要望
- 何年にもわたって見直しができない

■ プロジェクトNが最初に取り組んだ課題

図書館雑誌見直し

雑誌購入見直しの効率化

- 満足度ポイントの導入

雑誌購入予算の公平化

- 1人で高額な雑誌を独占することをなくす

予算の削減

- 瀬戸キャンパス図書館
2000万円中300万円削減
- 名古屋キャンパス図書館
8000万円中1200万円削減

図書館雑誌見直し

与えられた予算を削減することを制約条件に、教員の満足度ポイントの総和を最大にする削減案を提案

- ナップザック問題
- EXCELのソルバーで解を求めた
- 事務職員単独でできるように

時間割編成問題

クラス 時間割パネル

年	曜	組	時				
			A	B	C	D	E
月		中学一					
	一	理A	数B	音C	社D	保体E	
	二	社A	英B	保体C	音D	社E	
	三	英A	社B	国C	理D	音E	
	四	数A	国B	社C	理D	数E	
	五	国A	保体B	英C	理D	理E	
	六	保体A	音B	理C	英D	国E	
	七						

教員 時間割パネル

年	曜	組	時											
			国語											
月														
	一				国CA	会議	進路						国C	
	二		国E	国C	国CD	国CD	国E							
	三	国C		国CA	ME	ME	ME	ME	古F	選A				
	四	国CD	国CB	生徒会	中学	国CC		ME	生徒会	選A				
	五		国CA		国CE	国CE	選A		古典C	選A				
	六	国CE			M	M		選A	国D					
	七													

時間割編成問題

南山中学校・高等学校男子部

- 整数計画法の問題として定式化
- 最適化ソフトウェアを用いてシステムを作成
- 現在、ほかの中高一貫校へも適用可能なように改修中
- トヨタ系の企業の研修の時間割作成システムへも適用

ホームセンターでの事例

委託研究：店舗の最適構成

数理計画法を用いて店舗の棚の最適構成

⇒約3%の売り上げ増

[現在]

店舗のシフト作成

最適品揃え問題

競争下での最適価格の決定

棚の最適配置

愛知医科大学

麻酔科医のシフト作成

- 夜勤・日勤、休日のバランスの良いシフト
- 浜松医科大学のものも

手術室のスケジューリング

- より効率の良い手術室の利用
- 麻酔科医の勤務時間の短縮

ORの威力 海外の事例から

2018年のFranz Edelman Finalist賞（米国OR・経営工学会が主催するORの実施賞）受賞者から

- 米国連邦通信委員会:

新しいオークション手法による**200億ドル**の利益

- 中国石油天然気集団 :

5億ドルの運用コスト削減、**180億ドル**の建設コスト削減

- Europcar（レンタカー会社） :

毎年**3200万ドル**のコスト削減、**5億8400万ドル**の収益増

- インテル :

2014年からの4年間で**13億ドル**の在庫費用削減→利益増

他 Turner Broadcasting、Pediatric Heart Network

2.1 ORの威力 海外の事例から

インテルの事例

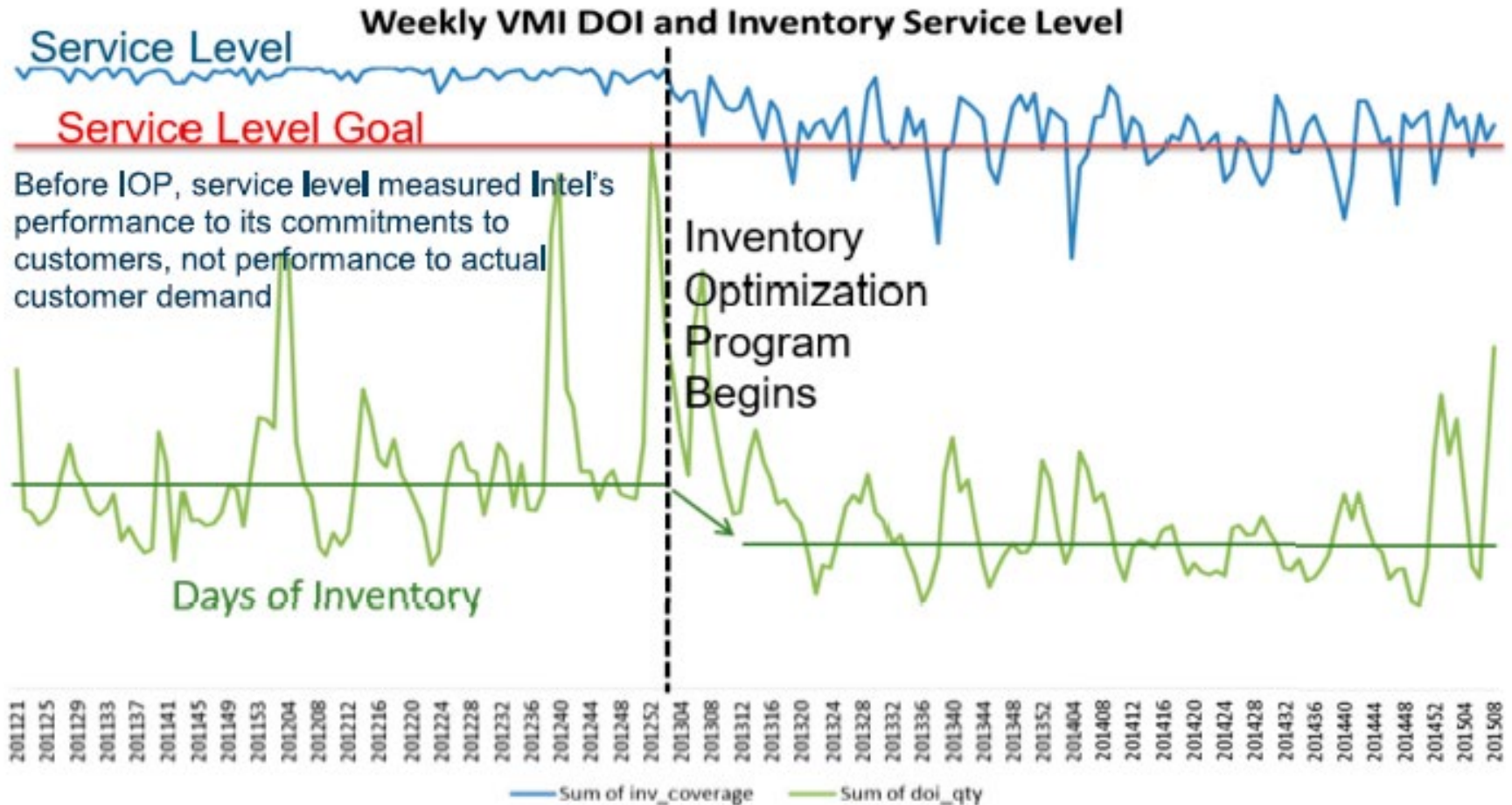
2000年代半ば インテルの在庫管理、受注処理業務

最悪の状態

10年間かけてMEIO (Multiechelon Inventory Optimization) を開発

- 顧客のオーダーへの回答までの時間 30日 ⇒ 1日
- 顧客満足度 Gartner Supply Chain Top 25 に
- 4年間で13億ドルの在庫費用などの削減 ⇒ 利益増

ORの威力 海外の事例から インテルの事例



Note: The vertical axes are blinded for confidentiality.



Figure 6, Analytics Makes Inventory Planning a Lights-Out Activity at Intel Corporation, INFORMS Journal on Applied Analytics, Vol. 49, No.1, p. 60

駐車場の最適割当

問題解決の方法の検討

- 利用者情報の把握 **データ整備**
- 利用者の通勤経路と勤務場所への移動時間を最小にする最適割当を求めるには??
地理情報システムによる通勤経路把握
割当問題・輸送問題としての定式化
最適化ソフトウェアの選択
- 最適解の検証 **シミュレーション**

⇒ **現場での試行、実践へ**

授業で学ぶこと

実際の問題をモデル化する(数式であらわす)

線形計画法、AHPを例にして

モデル化した問題を解決する

線形計画法の解法であるシンプレックス法

確率現象を含む問題を考える

待ち行列を例にして

確率現象を含む問題の解決方法のシミュレーション