

すぐわかる  
応用計画数学

工学博士 秋山 孝正 編著

博士(工学) 奥嶋 政嗣

博士(工学) 武藤 慎一 共著

博士(工学) 井ノ口弘昭

コロナ社

## ま え が き

大学教育課程は、学部・学科に対応した特定専門分野の知識を学習するところであり、教科書には特定分野の高度な知識が記載されるというプロトタイプは、高度情報化・多様化した社会システムを考えるうえで有益であろうか。むしろ、現代社会のシステムは複雑であり、特定分野の知識だけで問題を解決できることは稀なのではないかと考えている。

そもそも、私たちは、他分野の学習をしたからといって、研究分野が異なるので、やめたほうがよいと咎められるようなことはないはずである。むしろ、社会システムをいくつもの分野の知識からとらえることができる能力を学ぶことは、応用的価値を向上させることにつながるのではないかと考える。

これまで、特定の研究分野に限定せず、計画数学の基礎知識をわかりやすく整理した『すぐわかる計画数学』（コロナ社、1998年）が出版され、社会システムの計画における数理解析の理解に大きな役割を果たしてきた。

上記の書籍の共編著者である故 上田孝行先生（元・東京大学教授）は、土木計画学と経済学を統合した土木経済学を計画の基礎科目として構成することを提唱されていた。すなわち、数理的モデルの基礎を踏まえて、経済分析の技術論を社会システムに応用しようとする試みであると思う。

研究分野が異なると、同じ内容でも用語も相違することがある。例えば、社会システムにおける意思決定者は、プレーヤーとも消費者ともいわれる。分析の出発点の用語が相違すると、異なる理論体系のように思われる。しかしながら、経済分析モデルの意思決定と、数理計画モデルの意思決定は形式は異なるが、同一の行動帰結を与えている場合がある。すなわち、社会システムの問題には、数理解釈と経済学的解釈が同時に存在している場合が多数見られる。この計画問題における多面的な理解は基礎技術の応用力を与えるものである。

## ii ま え が き

本書では、計画数学の基本的知識を社会システム計画に応用するための方法を整理している。このため、応用的な数理計画として組合せ最適化問題と社会的意思決定のためのゲーム理論について講義する。つぎに、社会システムの解析に関して、基礎的な経済理論を学習する。さらに、計画プロジェクトの評価では応用的な経済分析手法を学習する。また応用的な意味から、現実の社会システムとして都市交通システムの解析方法について学習する。したがって、本書は、社会システム計画の応用的解析技術と現実的な問題解決法の理解を目的としている。

基礎理論を論述した前書の出版から多数の年月を経て、近年では情報機器の利用が日常的となっている。そのため数理的な教科書について体系的理論を記載するだけでは現実の問題解決には不十分なので、本書では、パソコンを用いて、計算技術を実際に利用するための演習問題を掲載することにした。

本書の内容は、関西大学環境都市工学部の学部講義において、学生諸氏の理解を踏まえたうえで改良を重ねてきたものである。本書が計画分野における応用技術の習得を志す諸氏の理解を高めることを期待している。

本書の企画から出版まで、ご協力をいただいたコロナ社の皆様に感謝の意を表する次第である。

2017年10月

編著者 秋山 孝正

# 目 次

## 1. 社会的意思決定とゲーム理論

1.1	組合せ最適化問題	1
1.1.1	数理計画問題	1
1.1.2	組合せ最適化問題	2
1.1.3	列挙法による解法	4
1.1.4	分枝限定法による解法	5
1.1.5	その他の組合せ最適化問題	9
1.2	ゲーム理論の基礎知識	10
1.2.1	ゲームの定義	10
1.2.2	二人ゼロ和ゲーム	12
1.2.3	二人ゼロ和ゲームの定式化	12
1.2.4	ゲームの均衡 (ナッシュ均衡)	14
1.2.5	非ゼロ和ゲーム (囚人のジレンマゲーム)	15
1.2.6	パレート最適性	15
1.3	ゲーム理論と数理計画法	16
1.3.1	混合戦略のゲーム	17
1.3.2	ミニマックス定理	17
1.3.3	混合戦略のゲームの解法	18
1.3.4	数理計画法による定式化	20
	演習問題	22

## 2. 社会システムの経済分析

2.1 経済分析の基本概念 .....	26
2.1.1 経済主体と市場 .....	26
2.1.2 合理的な行動とは .....	27
2.1.3 経済分析の方法 .....	28
2.2 消費者行動の理論 .....	29
2.2.1 消費者行動と効用 .....	29
2.2.2 限界効用 .....	30
2.2.3 無差別曲線 .....	31
2.2.4 予算制約 .....	32
2.2.5 消費者行動の記述 .....	33
2.2.6 効用最大化問題 .....	34
2.2.7 需要関数と価格弾力性 .....	35
2.2.8 支出最小化問題 .....	36
2.2.9 需要関数の変化 .....	38
2.2.10 消費者行動のまとめ .....	39
2.3 生産者の行動 .....	40
2.3.1 生産関数 .....	40
2.3.2 価格受容者と価格決定者 .....	41
2.3.3 利潤最大化 .....	41
2.3.4 費用関数 .....	43
2.3.5 生産量の決定 .....	44
2.3.6 生産物の供給曲線 .....	44
2.4 社会システムの外部性 .....	45
2.4.1 市場の需要曲線と供給曲線 .....	46
2.4.2 市場の安定性 .....	47
2.4.3 完全競争市場 .....	48
2.4.4 公共財と最適供給 .....	49
2.4.5 外部不経済 .....	50
2.4.6 余剰分析 .....	51

2.4.7	外部効果の補正	54
2.4.8	コースの定理	55
2.4.9	不完全競争の理論	56
2.5	一般均衡分析	57
2.5.1	一般均衡分析の問題	57
2.5.2	厚生経済学の基本定理	60
	演習問題	61

### 3. プロジェクト評価手法

3.1	プロジェクト評価と費用便益分析	65
3.1.1	プロジェクト評価の概要	65
3.1.2	プロジェクトの効果	66
3.1.3	便益の計測	69
3.1.4	総便益の計測	74
3.1.5	費用便益分析の評価指標	75
3.2	財務分析と便益帰着構成表	77
3.2.1	財務分析	77
3.2.2	便益帰着構成表	80
3.3	消費者余剰変化と利用者便益	83
3.3.1	EV, CVと消費者余剰変化	83
3.3.2	消費者余剰変化による利用者便益の計測	86
3.4	非市場財の便益評価	88
3.4.1	旅行費用法	89
3.4.2	ヘドニック価格法	94
3.4.3	CVM	99
3.5	社会的厚生関数と意思決定	106
3.5.1	帰結主義と非帰結主義	106
3.5.2	社会的厚生関数	108
	演習問題	117

## 4. 都市交通の経済分析

4.1 交通行動の数理モデル .....	122
4.1.1 離散選択モデルの定式化 .....	122
4.1.2 交通行動の観測データ .....	124
4.1.3 モデルパラメータの推定法 .....	125
4.1.4 モデルパラメータの推定手順 .....	126
4.1.5 モデルパラメータの推定計算例 .....	128
4.1.6 パラメータ推定値の検定とモデルの適合度 .....	130
4.1.7 非集計モデルに関する重要事項 .....	131
4.2 鉄道交通の経済分析 .....	134
4.2.1 基礎事項の復習 .....	134
4.2.2 交通の費用 .....	135
4.2.3 交通サービスの費用逓減 .....	137
4.2.4 鉄道の運賃 .....	138
4.2.5 総括原価主義 .....	139
4.2.6 インセンティブ規制 .....	141
4.3 道路交通の数理モデル .....	143
4.3.1 リンクパフォーマンス関数 .....	143
4.3.2 道路ネットワークの記述 .....	144
4.3.3 利用者均衡 .....	145
4.3.4 数値計算例 .....	147
4.3.5 利用者均衡条件 .....	147
4.3.6 等価な数理計画問題 .....	149
4.3.7 需要変動型の利用者均衡 .....	150
4.3.8 数値計算例（需要変動型利用者均衡） .....	151
4.4 道路交通の経済分析 .....	153
4.4.1 社会的限界費用 .....	154
4.4.2 混雑料金の理論 .....	155
4.4.3 混雑料金の社会的便益 .....	156
4.4.4 需要変動型システム最適配分 .....	157

4.4.5 道路網の混雑料金 .....	159
4.4.6 混雑料金の設定 .....	161
演習問題 .....	161
<b>付 録</b>	
付録A：ロアの恒等式とマッケンジーの補題（3章） .....	167
付録B：Excel ソルバーによる解法（演習問題） .....	170
引用・参考文献 .....	173
演習問題略解 .....	175
索 引 .....	185

---

### 執筆分担

---

秋山 孝正（関西大学） 1章，2章，4章  
奥嶋 政嗣（徳島大学） 4.1節  
武藤 慎一（山梨大学） 3章  
井ノ口弘昭（関西大学） 演習問題

---

（所属は2017年12月現在）



# 社会的意思決定と ゲーム理論

本章では、社会的意思決定の問題を取り扱う。特に社会システムの意思決定者が単独の主体であるときには、いわゆる数理計画の問題として解くことができる。なお、連続変数を用いた一般の数理計画問題については、関連書籍に紹介されているので<sup>1)†</sup>、ここでは離散的な数による数理計画問題について述べる。一方で、社会システムの中には、多数の意思決定者が参加する計画問題もある。この場合にはゲーム理論の考え方が必要になる。本章では、これらを順に説明する。

## 1.1 組合せ最適化問題

### 1.1.1 数理計画問題

単独の主体に関する社会システムの意思決定問題を整理するため、数理計画問題の基本的手法の要点について述べる。

数理計画問題は、一般的には目的関数といくつかの制約条件で定式化できる。例えば、つぎのような問題を考えよう。

$$\left\{ \begin{array}{l} \max z = 5x_1 + 3x_2 \\ \text{s.t. } x_1 + x_2 \leq 8 \\ \quad 2x_1 + x_2 \leq 12 \\ \quad \quad x_2 \leq 6 \\ \quad \quad \quad x_1 \geq 0, x_2 \geq 0 \end{array} \right. \quad (1.1)$$

† 肩付き数字は、巻末の引用・参考文献を表す。

この問題は、目的関数・制約条件がすべて線形関数で書かれており、**線形計画問題** (linear programming problem, **LP**) といわれる。したがって、シンプレックス法などの方法で解が得られる。一方で、目的関数・制約条件に非線形関数が含まれる場合には、**非線形計画問題** (nonlinear programming problem, **NLP**) となり、Kuhn-Tucker 条件を用いて解くことができる。これらの基本的解法については、関連書籍を参考にさせていただきたい<sup>1),2)</sup>。

### 1.1.2 組合せ最適化問題

ところで、上記の数値計画問題は、じつは変数が整数であるときは簡単に解けない。ここでは、現実の社会システム計画の中で、連続的な変数ではなく1個、2個と数えるような変数を考える。すなわち、変数が整数値しかとらない問題を考える。これを**離散最適化問題** (discrete optimization problem)、あるいは**整数計画問題** (integer programming problem) という。さらに、離散最適化問題が、組合せ的性質を持つ場合には、**組合せ最適化問題** (combinatorial optimization problem) と呼ばれる<sup>3),4)</sup>。

例えば、連続変数の標準形の線形計画問題 (LP) は次式のように書くことができる。

$$\begin{cases} \min z = cx \\ \text{s.t. } Ax = b \\ x \geq 0 \end{cases} \quad (1.2)$$

つぎに、同じ線形計画問題を離散変数で表現する場合には、次式のようになる。

$$\begin{cases} \min z = cx \\ \text{s.t. } Ax = b \\ x_j : \text{非負整数 } (j=1, 2, \dots, n) \end{cases} \quad (1.3)$$

この問題の変数は連続変数ではなく、離散変数 (0, 1, 2, ...) であり、この点を考慮した効率的な解法が必要である。また、現実プロジェクト (道路網計

画，都市計画など) では，離散的な意思決定問題が多数存在する。

つぎに，具体的な組合せ最適化問題を考える。公共事業プロジェクト (A, B, C, …) の組合せ最適化により社会的便益を最大にするという問題を取り上げる。このときは，各変数はつぎのように定義できる。

$$x_j = \begin{cases} 1 & (\text{計画 } j \text{ を実行する}) \\ 0 & (\text{計画 } j \text{ を実行しない}) \end{cases} \quad (1.4)$$

ここで，各プロジェクト  $j$  の費用を  $a_j$ ，社会的便益を  $c_j$  として，予算額を  $b$  とするとき，この問題はつぎのように定式化できる。

$$\begin{cases} \max z = \sum_{j=1}^n c_j x_j & (\text{社会的便益最大}) \\ \text{s.t. } \sum_{j=1}^n a_j x_j \leq b & (\text{予算制約}) \\ x_j \in \{0, 1\} & (j=1, 2, \dots, n) \end{cases} \quad (1.5)$$

この問題は，袋の中に「効用」が大きくなるように品物を入れるという問題の形式から，**ナップサック問題** (knapsack problem) といわれる。この問題は，離散変数の問題であり，簡単に解くことが難しい。

一方で，変数が連続数である場合は，**連続ナップサック問題** (continuous knapsack problem) となり，最適解は比較的簡単に求めることができる。連続ナップサック問題はつぎのように定式化できる。

$$\begin{cases} \max z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \text{s.t. } \sum_{j=1}^n a_j x_j \leq b \\ 0 \leq x_j \leq 1 & (j=1, 2, \dots, n) \end{cases} \quad (1.6)$$

なお，変数  $x_j$  の値が  $0 \sim 1$  の連続量となっていることに注意する。

このとき，変数  $x_j$  の効率  $c_j/a_j$  を  $c_1/a_1 \geq c_2/a_2 \geq \dots \geq c_n/a_n$  となるように並べ替えておくと，最適解は  $(x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n)$  の順に  $x_j=1$  とおく。さらに， $\sum_{j=1}^{q-1} a_j < b$ ， $\sum_{j=1}^q a_j \geq b$  となる  $j=q$  を整数でない値とする。すなわち，連続ナツ

プサック問題の最適解は、つぎのように表せる。

$$x_j = \begin{cases} 1 & (j=1, 2, \dots, q-1) \\ \frac{b - \sum_{j=1}^{q-1} a_j}{a_q} & (j=q) \\ 0 & (j=q+1, q+2, \dots, n) \end{cases} \quad (1.7)$$

すなわち、最適解は  $(1, 1, 1, \dots, x_q, 0, 0, 0, \dots)$  となり、 $x_q$  が実数値である。

このように、整数計画問題を直接解くことが難しい場合、取り扱いやすい連続変数を用いた**緩和問題** (relaxation problem) を考えることができる。これを**連続緩和問題** (continuous relaxation problem) という。

### 1.1.3 列挙法による解法

つぎに、以下のような実際の組合せ最適化問題を解いてみる。

$$\begin{cases} \max z = 4x_1 + 5x_2 + x_3 + 3x_4 \\ \text{s.t. } 2x_1 + 3x_2 + x_3 + 4x_4 \leq 4 \\ x_j \in \{0, 1\} \quad (j=1, 2, 3, 4) \end{cases} \quad (1.8)$$

この問題では、各変数  $x_j$  のとりうる値は0または1の2値である。また、この問題は  $x_1 \sim x_4$  の4変数問題なので、すべての解の組合せ総数は  $2^4 = 16$  通りである。この問題の場合は、解をすべて列挙して、実行可能解のうちで目的関数が最大のものを見つけることができる。これを**列挙法** (enumeration method) という。この組合せ最適化問題のすべての解を列挙すると、**図 1.1** のようになる。制約条件を満たさない実行不能な解を除いて、最適解は  $z=6$ 、 $(x_1, x_2, x_3, x_4) = (0, 1, 1, 0)$  であることがわかる。

一般に、離散変数の数を  $n$  とすると、場合分けの総数は  $2^n$  となる。つまり、変数の数が大きくなると解の組合せは膨大となる。したがって、列挙法を用いて最適解が得られるのは比較的小規模な問題に限られる。そのため、一般的な離散最適化問題の解法として、以下に分枝限定法を説明する。

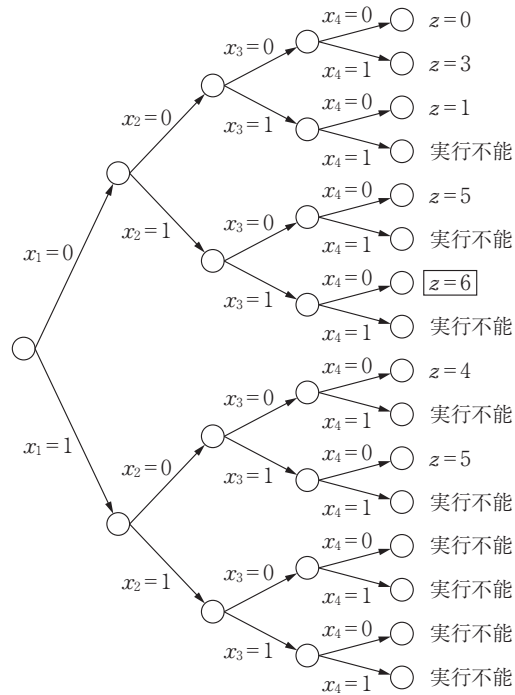


図 1.1 組合せ最適化問題の列挙法

#### 1.1.4 分枝限定法による解法

つぎに、組合せ最適化問題を直接解くことが難しい場合、問題をいくつかの部分問題 (partial problem) に分解し、それらを解くことによりもとの問題を解く方法を分枝限定法 (branch and bound method) という。

具体的には

- ① 分枝操作 (branching operation) : ある問題から部分問題を生成する
- ② 限定操作 (bounding operation) : 最適解を与える見込みのない問題を対象から除く

という操作で構成される。

ここで、最適解を与える見込みのない場合を**終端**、最適解の探索を継続する

# 索引

<b>【あ】</b>		完全情報ゲーム	11	限界生産力	40
鞍点定理	14	完備情報ゲーム	12	限界生産力逓減の法則	40
<b>【い】</b>		緩和問題	4	限界代替率	32, 98
一般均衡	57	<b>【き】</b>		限界費用	44
一般均衡分析	28, 57	帰結主義	106	限界費用価格形成	156
遺伝的アルゴリズム	10	起終点交通量	144	限界費用曲線	134
<b>【う】</b>		技術的外部効果	51	限界便益	50
有無比較法	66	基数的効用分析	29	顕在化した選好	133
<b>【え】</b>		規模の経済	138	現在価値換算	75
影響	68	キャピタリゼーション仮説	95	限定操作	5
営業係数	79	供給曲線	45, 134	<b>【こ】</b>	
エッジワースの ボックスダイアグラム	58	共有知識	12	効果	68
<b>【か】</b>		協力	16	公共財	49, 134
外部経済	51	協力ゲーム	11	交差価格弾力性	36
外部効果	51	均衡価格	47	厚生経済学の第1定理	60
外部不経済	51, 135	近似法	133	——の第2定理	61
——の内部化	55	金銭的外部効果	51	公正妥当主義	140
価格受容者	41	<b>【く】</b>		公正報酬率原則	140
価格設定者	41	組合せ最適化問題	2	交通一般化価格	70
価格弾力性	36	クモの巣課程	48	交通行動	122
下級財	33	黒字転換年	79	勾配ベクトル	126
確定項	123	<b>【け】</b>		公平性	27, 107
確率効用理論	122	経済財	26	効用	27
仮説市場法	99	経済的純現在価値	75	効用可能曲線	60
寡占	56	経済的内部収益率	76	効用関数	29
数え上げ法	132	経済波及効果	68	効用最大化	33
活性	6	契約曲線	59	効用最大化行動	69
可変費用	43	経路	145	効用水準	69
間接効果	68	ゲーム理論	10	効率性	27, 107
間接効用関数	36	限界効用	30	合理的	27
完全競争	41	限界効用逓減の法則	31	合理的行動	28
完全競争市場	48	限界効用比	98	誤差項	123
		限界生産性	42	コースの定理	56
		限界生産物価値	42	固定費用	43
				混合戦略	11, 17
				混雑料金	154

<b>【さ】</b>		囚人のジレンマ	15	損益分岐点	45, 79
財	26	終 端	5	<b>【た】</b>	
最小受取額	71, 100	収 入	41	貸借対照表	77
最大支払い意思額	72, 100	需要関数	35, 70	代替効果	39
最適戦略	18	需要変動	150	<b>【ち】</b>	
最適保証水準	18	需要変動型システム		地域比較法	66
財務諸表	77	最適配分	157	地 価	96
財務的純現在価値	78	巡回セールスマン問題	9	地 代	96
財務的内部収益率	78	準公共財	50	中間ノード	144
サービス	26, 134	純粹交換モデル	58	中級財	33
最尤推定法	126	純粹公共財	49	超過供給	47
暫定解	6	純粹戦略	11, 17	直接効果	68
		上級財	33	<b>【つ】</b>	
<b>【し】</b>		消費可能領域	32	通常（マーシャル）の	
死荷重	57	消費者余剰	53, 83, 86, 156	需要関数	85
時間選好率	74	序数効用	29	<b>【と】</b>	
事業効果	68	所得効果	39	等価の偏差	71
資金運用表	77	<b>【す】</b>		等価な数理計画問題	149
自己価格弾力性	36	数理計画問題	170	等時間原則	147
死重損失	57, 156	<b>【せ】</b>		投 入	40
支出関数	37	正規分布	123	等量消費性	49
支出最小化	34	生産関数	40	独 占	56
支出収入比	79	生産者余剰	53, 156	<b>【な】</b>	
支出水準	70, 97	生産費用	41	ナッシュ型社会的厚生関数	
市 場	27	生産要素	40		113
——の失敗	49, 134	整数計画問題	2	ナッシュ均衡	14
市場均衡点	47	積分法	133	ナッシュ均衡点	12
システム最適状態	156	ゼロ和	11	ナップサック問題	3
施設効果	68	線形計画問題	2	<b>【に】</b>	
自然独占	138	線形効用関数	123	ニュートン・ラブソン法	
次善料金	161	前後比較法	66		126
私的限界費用	54	潜在的な選好	133	<b>【は】</b>	
私的財	49	選択肢	122	バイアス	134
支配戦略	12	セントロイド	144	排除不可能性	49
支払い意思額	51	戦 略	11	破壊的競争	138
社会的限界費用	54, 154	<b>【そ】</b>		派生的需要	134
社会的厚生関数	108	操業停止点	45		
社会的ジレンマ	16	総生産性	42		
社会的余剰	53	総生産費用	154		
社会的割引率	75	損益計算書	77		
集計化問題	132				
自由財	26				

パレート改善 54, 59  
 パレート最適 16, 54, 59, 134  
 パレート優位 15

**【ひ】**

非婦結主義 106  
 非競合性 49  
 非協力ゲーム 11  
 ビゲー税 55  
 非市場財 89  
 非ゼロ和 11  
 非線形計画法 28  
 非線形計画問題 2  
 費用関数 43  
 費用積上げ方式 140  
 費用便益比 76

**【ふ】**

深さ優先探索 8  
 不完全競争 41, 56  
 不完全競争市場 49  
 不完全情報ゲーム 12  
 不完備情報ゲーム 12  
 複占 56  
 部分均衡 56  
 部分均衡分析 28, 57  
 部分問題 5  
 プライスキャップ方式 141  
 プレーヤー二人のゲーム 17  
 プロジェクト評価 66  
 プロビットモデル 123  
 分枝限定法 5  
 分枝操作 5  
 分類法 133

**【へ】**

平均生産性 42

平均値法 133  
 平均費用 44, 154  
 ヘッセ行列 126  
 ヘドニック価格法 95  
 便益 68  
 便益帰着構成表 80  
 ベンサム型社会的厚生関数 109

**【ほ】**

補償需要関数 37, 84  
 補償所得 38  
 保証水準 14  
 補償的偏差 72  
 本源的需要 134

**【ま】**

マーシャル安定 48  
 マックスミン戦略 14  
 マッケンジーの補題 169

**【み】**

ミニマックス原理 14  
 ミニマックス戦略 14  
 ミニマックス定理 18

**【む】**

無差別曲線 31

**【や】**

ヤードスティック方式 142

**【ゆ】**

尤度 125  
 尤度比指標 131

**【よ】**

予算制約 32  
 予算線 32

**【り】**

離散最適化問題 2  
 離散選択 122  
 利潤 41, 143  
 ——の最大化 41  
 利得 11  
 利得行列 11  
 利用者均衡 145  
 利用者便益 83  
 旅行費用法 89  
 リンクパフォーマンス関数 143

**【れ】**

列挙法 4  
 レートベース方式 140  
 連続緩和問題 4  
 連続ナップサック問題 3

**【ろ】**

ロアの恒等式 90, 167  
 ロジットモデル 123  
 ロピタルの定理 111  
 ロールズ型社会的厚生関数 114

**【わ】**

ワルラス安定 48

**【A】**

AC 44  
 AP 42

**【B】**

BPR 144

**【C】**

CBR 76  
 CES 関数 109



CS	53, 86	LMC	137	SO	156
CV	72	LP	2	SP 調査	133
CVM	99	LTC	136	SS	53
	<b>[E]</b>		<b>[M]</b>	STC	136
EIRR	76	MC	44		<b>[T]</b>
ENPV	75	MP	43	TCM	89
EV	71	MRS	32	TP	42
EXCEL ソルバー	170		<b>[N]</b>	TSP	9
	<b>[F]</b>	NLP	2, 28		<b>[U]</b>
FIRR	78	NP 困難性	10	UE	145
FNPV	78		<b>[O]</b>		<b>[w]</b>
	<b>[I]</b>	OD 交通量	145	Wardrop の第 1 原則	147
IIA 特性	131		<b>[S]</b>	WTA	71, 100
	<b>[L]</b>	SAC	136	WTP	72, 100
LAC	136	SMC	137, 154		

—— 編著者・著者略歴 ——

**秋山 孝正** (あきやま たかまさ)

1981年 京都大学工学部交通土木工学科卒業  
1983年 京都大学大学院工学研究科修士課程修了(交通土木工学専攻)  
1983年 京都大学助手  
1989年 工学博士(京都大学)  
1990年 京都大学講師  
1992年 ロンドン大学文部省在外研究員  
1994年 岐阜大学助教  
1998年 岐阜大学教授  
2008年 関西大学教授  
現在に至る

**武藤 慎一** (むとう しんいち)

1994年 岐阜大学工学部土木工学科卒業  
1996年 岐阜大学大学院工学研究科博士前期課程修了(土木工学専攻)  
1999年 岐阜大学大学院工学研究科博士後期課程修了(生産開発システム工学専攻)博士(工学)  
1999年 岐阜大学助手  
2002年 大阪工業大学講師  
2006年 山梨大学助教  
2007年 山梨大学准教授  
現在に至る

**奥嶋 政嗣** (おくしま まさし)

1992年 京都大学工学部交通土木工学科卒業  
1994年 京都大学大学院工学研究科修士課程修了(応用システム科学専攻)  
1994年 株式会社日本総合研究所勤務  
2002年 岐阜大学助手  
2005年 博士(工学)(京都大学)  
2007年 岐阜大学助教  
2008年 徳島大学准教授  
現在に至る

**井ノ口 弘昭** (いのくち ひろあき)

1994年 豊田工業高等専門学校土木工学科卒業  
1996年 豊橋技術科学大学工学部知識情報工学課程卒業  
1998年 名古屋大学大学院工学研究科博士前期課程修了(地圏環境工学専攻)  
2001年 名古屋大学大学院工学研究科博士後期課程修了(土木工学専攻)博士(工学)  
2001年 関西大学助手  
2007年 関西大学助教  
2013年 関西大学准教授  
現在に至る

## すぐわかる応用計画数学

Quick Master of Applied Mathematical Techniques for Planning

© Akiyama, Okushima, Muto, Inokuchi 2018

2018年1月18日 初版第1刷発行

★

検印省略

編著者 秋山孝正  
著者 奥嶋政嗣  
武藤慎一  
井ノ口弘昭  
発行者 株式会社 コロナ社  
代表者 牛来真也  
印刷所 新日本印刷株式会社  
製本所 有限会社 愛千製本所

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社

CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替00140-8-14844・電話(03)3941-3131(代)

ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-02879-9 C3051 Printed in Japan

(中原)



**JCOPY** <出版者著作権管理機構 委託出版物>

本書の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。複製される場合は、そのつど事前に、出版者著作権管理機構(電話 03-3513-6969, FAX 03-3513-6979, e-mail: info@jcopy.or.jp)の許諾を得てください。

本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられています。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めていません。落丁・乱丁はお取替えいたします。