

**Ex 2-1** 動的計画法 (Dynamic programming) と呼ばれるアルゴリズムに共通する特徴について説明せよ.

**Ex 2-2** 単一の機械で **Table 2-1** に示す 4 つのジョブを加工したい. 以下の問いに答えよ.

**Table 2-1:** 対象ジョブの加工時間 ( $p_j$ ), 重み ( $w_j$ ), 納期 ( $d_j$ )

$j$	1	2	3	4
$p_j$	50	90	30	150
$w_j$	4	10	5	2
$d_j$	100	300	150	160

- (1) 重み付き最大納期遅れ (Maximum weighted tardiness) を最小にするスケジュール (が複数存在する場合はそのうちのひとつ) を求めよ. (ジョブの投入順と目的関数値を明示し, ガントチャートで表示すること.)
- (2) 重み付き納期遅れ和 (Total weighted tardiness) を最小にするスケジュール (が複数存在する場合はそのうちのひとつ) を, 前向きの動的計画法 (Forward dynamic programming) で求めよ.
- (3) 重み付き納期遅れ和 (Total weighted tardiness) を最小にするスケジュール (が複数存在する場合はそのうちのひとつ) を, 後向き動的計画法 (Backward dynamic programming) で求めよ.

**Ex 3-1** 分枝限定法 (Branch and bound) と呼ばれるアルゴリズムに共通する特徴について説明せよ.

**Ex 3-2** **Ex 2-2** と同じ 4 ジョブの単一機械スケジューリング問題を考える. 以下の問いに答えよ.

- (1) 重み付き納期遅れ和 (Total weighted tardiness) を最小にするスケジュール (が複数存在する場合はそのうちのひとつ) を, 分枝限定法 (Branch and bound) で求めよ.

**Ex 4-1** 4 台の機械 (M1～M4) からなるフローショップ (Flow shop) で、**Table 4-1** に示す 4 つのジョブを加工したい (ジョブの加工経路 (Processing route) は、M1, M2, M3, M4 の順とする)。以下の問いに答えよ。

**Table 4-1:** 対象ジョブの加工時間 (分)

	M1	M2	M3	M4
J1	40	100	90	80
J2	70	90	70	90
J3	110	80	50	80
J4	90	120	50	40

- (1) 機械間に十分な置場 (Buffer space) があり、ブロッキング (Blocking) は生じないものとして、メイクスパンを最小にするスケジュール (が複数存在する場合はそのうちのひとつ) を、分枝限定法 (Branch and bound) で求めよ。
- (2) 機械間に全く置場 (Buffer space) がなく、ブロッキング (Blocking) が生じるものとして、メイクスパンを最小にするスケジュール (が複数存在する場合はそのうちのひとつ) を、分枝限定法 (Branch and bound) で求めよ。

**Ex 4-2** **Ex 4-1** のフローショップ (Flow shop) で、機械間に置場 (Buffer space) はあるが、その容量は小さく、ブロッキング (Blocking) が生じないと言い切れないような状況を考える。このような状況下でのスケジューリング問題を、全く置場 (Buffer space) のないフローショップ (Flow shop) のスケジューリング問題に帰着させるにはどうすればよいのか。例として、M1 と M2, M2 と M3, M3 と M4 の間に、それぞれジョブを 1 つしか置けない状況を想定して、具体的に説明せよ。

**Ex 5-1** **Ex 4-1** のフローショップ (Flow shop) の(2)のスケジューリング問題を考える.

**Table 5-1** は, この問題における任意のジョブの投入順 ( $\pi$ ) とそのもとでのメイクスパン ( $C_{\max}$ ) を表している. 隣接ペア交換操作 (Adjacent pairwise interchange operator) で近傍 (Neighborhood) を定義したとして, 以下の問いに答えよ.

**Table 5-1:** ジョブの投入順とメイクスパン (分)

$\pi$	$C_{\max}$	$\pi$	$C_{\max}$
(1, 2, 3, 4)	550	(3, 1, 2, 4)	590
(1, 2, 4, 3)	560	(3, 1, 4, 2)	660
(1, 3, 2, 4)	530	(3, 2, 1, 4)	590
(1, 3, 4, 2)	610	(3, 2, 4, 1)	670
(1, 4, 2, 3)	590	(3, 4, 1, 2)	680
(1, 4, 3, 2)	590	(3, 4, 2, 1)	680
(2, 1, 3, 4)	570	(4, 1, 2, 3)	650
(2, 1, 4, 3)	590	(4, 1, 3, 2)	650
(2, 3, 1, 4)	570	(4, 2, 1, 3)	650
(2, 3, 4, 1)	660	(4, 2, 3, 1)	670
(2, 4, 1, 3)	630	(4, 3, 1, 2)	650
(2, 4, 3, 1)	630	(4, 3, 2, 1)	650

- (1) 初期解  $\pi_0 = (1, 2, 3, 4)$  からスタートして, 単純な局所探索 (Naïve Local Search) で, 局所最適解 (Local optimum) に至るまでの解の系列 ( $\pi_0, \pi_1, \dots, \pi^*$ ) の例を 1 つ示せ.
- (2) 局所最適解 (Local optimum) をすべて列挙せよ.

**Ex 6-1** 3 台の機械 (M1～M3) からなるジョブショップ (Job shop) で, **Table 6-1** に示す 4 つのジョブを加工したい. 以下の問いに答えよ.

**Table 6-1:** 対象ジョブの加工経路と加工時間 (分)

$k$	J1		J2		J3	
	$\mu_{1k}$	$p_{1k}$	$\mu_{2k}$	$p_{2k}$	$\mu_{3k}$	$p_{3k}$
1	M1	40	M2	70	M2	70
2	M2	100	M1	40	M3	80
3	M3	50	—	—	—	—

- (1) メイクスパン最小化を目的とするスケジューリング問題を 0-1 混合整数線形計画問題 (0-1 MILP) として定式化せよ.
- (2) 最適化ソルバを用いて, 上で定式化した問題の最適解を求めよ.

**Ex 6-2** ジョブショップスケジューリング問題を 0-1 混合整数線形計画問題 (0-1 MILP) として定式化する際に利用した Big M の役割を説明せよ.

**Ex 7-1** **Ex 6-1** のジョブショップスケジューリング問題の最適解（が複数存在する場合はそのうちのひとつ）を，分枝限定法（Branch and bound）で求めよ．

**Ex 7-2** セミアクティブスケジュール（Semi-active schedules），アクティブスケジュール（Active schedules），遅れなしスケジュール（Non-delay schedules）の 3 つについてそれぞれ説明した上で，それらの間の関係を述べよ．

**Ex 9-1** 下記の技術用語をそれぞれ簡潔に説明せよ.

- (1) 特急ジョブ (Rush orders)
- (2) ロバストスケジューリング (Robust scheduling)
- (3) 適応的 (再) スケジューリング (Adaptive (re)scheduling)
- (4) オンラインスケジューリング (Online scheduling)
- (5) モンテカルロシミュレーション (Monte Carlo simulation)

**Ex 9-2** オンラインジョブショップスケジューリングの離散事象シミュレーションにおいて, LIFO, SPT, LPT を用いた場合, FIFO と比べて, 滞留時間 (Flow time) が極端に長いジョブが生じることが確認された. その理由を考察せよ.

**Ex 10-1** 下記の技術用語をそれぞれ簡潔に説明せよ.

- (1) 在庫管理の(s, S)方式 ((s, S) policy)
- (2) ブラックボックス最適化 (Black-box optimization)

**Ex 10-2** 講義で扱った見込生産の事例の経済的発注量 (EOQ) を求め, PSO で得られた  $(s^*, S^*)$  で運用した場合の発注量と比較せよ. ただし, 1 期あたりの平均需要量は  $\bar{D}_t = 200$  である. また, 発注コストは 1 回あたり  $C^O = 1000$ , 保管コストは 1 個 1 期あたり  $C^H = 1$  であった.

**Ex 10-3** 離散事象シミュレーション (Discrete-event simulation: DES) と離散時間シミュレーション (Discrete-time simulation: DTS) における時間の進め方の違いを説明せよ.



**Ex 11-1** 同一の機械 2 台 (M1, M2) で, **Table 11-1** に示す 5 個のジョブを加工したい.

**Table 11-1:** 対象ジョブの加工時間 ( $p_j$ )

$j$	1	2	3	4	5
$p_j$	4	6	8	10	12

このシステムの全体的な目的関数は, メイクスパン最小化である. 一方, 各ジョブ (の所有者) は, 自分のジョブの完了時間 (Completion time) 最小化を目的としている. 最初に, スケジュール作成者が, 各機械に割り付けられたジョブの処理順序を決めるルールを規定し, 各ジョブ (の所有者) に提示する. 各ジョブ (の所有者) は, それを受けて, 自分のジョブをどちらの機械に割り付けるかを選択するものとする. 以下の問いに答えよ.

- (1) ジョブの処理順序を SPT で決めると規定したときの, ナッシュ均衡となるスケジュールを求めよ.
- (2) ジョブの処理順序を LPT で決めると規定したときの, ナッシュ均衡となるスケジュールを求めよ.

**Ex 11-2** 無秩序の代償 (Price of anarchy: POA) とは何かを説明し, 上の **Ex 11-1** の(1), (2)における POA の値を求めよ.

**Ex 12-1 Table 12-1** のジョブは, 前回(第 13 回)の講義資料の事例に出てきたものである. 事例の Case 3 と同じく, 重み付き完了時間 (Total weighted completion times) の最小化を目的として, この 5 ジョブを同一の機械 2 台 (M1, M2) で加工するスケジュールを作成したい.

**Table 12-1:** 対象ジョブの加工時間 ( $p_j$ ) と重み ( $w_j$ )

$j$	1	2	3	4	5
$p_j$	25	35	50	85	100
$w_j$	10	15	10	5	35
$w_j/p_j$	0.4	0.43	0.2	0.06	0.35

各ジョブ  $j \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$  (の所有者) は, 自分のジョブの重み付き完了時間 (Weighted completion time) にのみ関心を持ち, 準線形の効用関数  $v_j(\pi) = -w_j C_j(\pi)$  を持つ. ただし, 各ジョブの重みは, そのジョブ (の所有者) の私的情報であり, スケジュール作成者は知らないものとする.

この問題に, スケジューリングオークションを適用する. すなわち, 各ジョブ  $j$  (の所有者) に自分のジョブの重みを申告してもらい, その申告値  $w'_j$  に基づいて, (申告された) 重み付き完了時間  $\sum_{j=1}^5 w'_j C_j(\pi)$  が最小となるスケジュールを作成する.

このとき, VCG メカニズムに利用して支払額を決めたため, 各ジョブ (の所有者) は正直に正しい重みを申告したとする. 各ジョブ (の所有者) の支払額を求めよ.

**Ex 13-1** 下記の技術用語をそれぞれ簡潔に説明せよ.

- (1) エシェロン在庫 (Echelon stocks)
- (2) ベンダーマネジドインベントリー (Vender managed inventory: VMI)
- (3) サードパーティーロジスティクス (Third party logistics: 3PL)
- (4) 垂直統合 (Vertical integration)

**Ex 13-2** サプライチェーンにブルウィップ効果が生じるメカニズムを説明せよ.

**Ex 14-1** 講義資料のモデル 1 で、交渉力の大きな小売店 (Seller) が卸売価格 ( $w$ ) を決定でき、製造者 (Maker) はその卸売価格 ( $w$ ) を前提として生産量 ( $q$ ) を決めることしかできないとする。この場合にどのような帰結が生じるかについて検討せよ。

**Ex 14-2** 講義資料のモデル 2 で、卸売価格 ( $w$ ) が 300 に下がったとき、および、500 に上がったときの、 $q^*$ ,  $r_S^*$ , および、 $r_M$  の値を求めよ。また、その結果を参考にして、製造者 (Maker) が卸売価格 ( $w$ ) をどのように決定するかについて考察せよ。

**Ex 14-3** 講義資料のモデル 2 で、卸売価格 ( $w$ ) はもとの値 (400) のままで、需要予測の精度が改善され、 $[y_L, y_U] = [540, 660]$  になったとする。この場合の、 $q^*$ ,  $r_S^*$ , および、 $r_M$  の値を求めよ。また、その結果を参考にして、このモデルにおける、需要予測精度の影響について考察せよ。