

1 まえがき

ジョブショップスケジューリング問題 (Job Shop Scheduling Problem, JSSP)[1] は NP 困難として知られており、局所探索 (Local Search, LS) を導入したメタ戦略アルゴリズムの研究が盛んである。LS で採用する近傍構造に応じて、LS の性能が左右されるため、近傍構造の研究が極めて重要視されている。JSSP における高品質な近傍構造として、N5, N6, N7 に加え、2023 年には N8 近傍構造が提案されている [1]。これら N 近傍は、タブー探索 (Tabu Search, TS) を中心とするメタ戦略アルゴリズムの下で評価されており、非常に良好な結果を算出することが知られている。N 近傍は多くの探索アルゴリズムにおいて適用可能な汎用的な近傍構造であるにも関わらず、メタ戦略アルゴリズムでの研究が殆どであり、その基本性能は明らかになっていない。本研究では、各 N 近傍を導入した単純な局所探索の解探索性能を比較・評価し、N 近傍の包含関係の合理性を示す。

2 ジョブショップスケジューリング問題 (JSSP)

JSSP は、 m 台の機械に n 個のジョブが持つ作業を割り当てることで得られる解 s の総加工時間 (メイクスパン) $C_{\max}(s)$ を最小化する問題である。各ジョブは複数の作業を持ち、それぞれ異なる作業順序が指定されている。各作業は複数の機械で同時に作業することはできず、各機械も複数の作業を同時に作業することはできない。図 1 に、4 ジョブ 3 機械の場合の JSSP スケジュール例を示す。

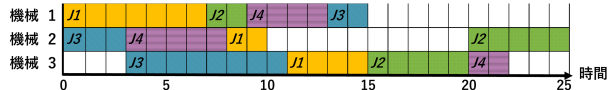


図 1 $n = 4, m = 3$ の場合の JSSP 解例ガントチャート

3 局所探索と近傍構造

局所探索 (LS) は、ある解 s が与えられたとき、近傍構造に基づき、解に変化を加えることで生成される近傍解集合のうち、評価値が改善する解に移動する操作を、改善解が見つからなくなるまで繰り返すことで、より良い解を探索する。LS の設計において、解を移動する際の戦略が大きく 2 つあり、 s からの改善が最も大きい解へ移動する最良移動戦略と、近傍解の評価時に初めて見つかった改善解に移動する即時移動戦略が広く用いられる。タブー探索では、基本的に前者が用いられている。

JSSP に対する LS は、解の改善が見込まれる近傍解に絞って探索することが効率的な探索に繋がると考えられている。N 近傍は、クリティカルパス上の、同じ機械による作業の連続であるクリティカルブロック (以後、単にブロックと呼ぶ) 内の作業に焦点をあてて近傍解を生成する N 近傍構造 (N5, N6, N7, N8) が提案されている。N8 近傍構造を図 2 に示す。

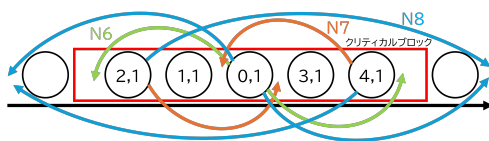


図 2 N8 近傍構造

N8 近傍構造は N7 までの近傍操作に加え、ブロックに含まれる作業をブロック外に移動する近傍操作も含

む近傍構造である。N8 近傍構造は N7 近傍構造を、N7 近傍構造は N6 近傍構造を、N6 近傍構造は N5 近傍構造を内包する関係にある。本論では、 $N_x - 1$ 近傍から新たに導入された近傍操作を " N_x 近傍の特有操作" と呼ぶ。また、N8 近傍は N7, N6, N5 と比較して非常に大きな近傍であるため、評価値の改善が見込まれない近傍解を排除する近傍クリッピング [1] が導入される。

4 実験結果

各 N 近傍に基づく LS の基本性能を評価するために実験を行った。ベンチマーク問題例は、著名なデータセット abz から 5 題、ft から 3 題、la から 10 題、ta から 10 題の計 28 題を用いた。検討するアルゴリズムは、ランダムに生成した初期解に対して、最良移動戦略に基づく LS を実行する。本実験では各ベンチマーク問題例に対し、各 N 近傍を導入した 4 種の LS で実験し、解の平均精度、各近傍特有操作で改善した回数の割合、初期解から改善したメイクスパンの幅に対する各近傍特有操作の貢献度等を算出した。精度は、得られた解 s_{solve} と、既知の最良解 s_{opt} との誤差率 $\frac{C_{\max}(s_{\text{solve}}) - C_{\max}(s_{\text{opt}})}{C_{\max}(s_{\text{opt}})}$ であり、0 に近いほど、良い結果が出ていることになる。表 1 に平均精度、表 2 に初期解から改善したメイクスパンの幅に対する各近傍特有操作の貢献度を示す。

表 1 各近傍構造を用いた LS の平均精度

	N5	N6	N7	N8
Average	0.347	0.299	0.297	0.242

表 2 各近傍特有操作の貢献度

	N5	N6	N7	N8
N5 特有操作の貢献度 (%)	100.00	75.27	54.78	32.68
N6 特有操作の貢献度 (%)	-	24.73	5.51	4.60
N7 特有操作の貢献度 (%)	-	-	39.71	24.46
N8 特有操作の貢献度 (%)	-	-	-	38.27

表 1 から、N8 近傍を用いた LS が算出した解の平均精度が最も優れた結果を算出したことから、N8 近傍に基づく LS が JSSP の解の改善に有効であった。また表 2 から、N6, N7, N8 近傍において、N5 特有操作の貢献度が大きな割合を占めていることから、N5 近傍特有操作の重要性が伺える。更に、N7 近傍では N7 近傍特有操作が、N8 近傍では N8 近傍特有操作が、解の改善に強く貢献していることが示された。N6, N7, N8 近傍が、それぞれ過去に提案された N 近傍を包含していることの合理性が明らかになった。

5 むすび

JSSP に対して、現在主流である 4 つの近傍構造に基づく局所探索の基本性能比較を行った。実験結果から、N8 近傍の有効性と N 近傍構造の包含関係の合理性を示した。

今後の展望として、より現実的なスケジューリング問題である、フレキシブルジョブショップスケジューリング問題への応用が考えられる。

参考文献

- [1] J. Xie, X. Li, L. Gao, and L. Gui. A new neighbourhood structure for job shop scheduling problems. *International Journal of Production Research*, Vol. 61, No. 7, pp. 2147–2161, 2023.