

報告番号	※甲	第	号
------	----	---	---

## 主論文の要旨

論文題目 Construction Heuristics for the Rectilinear Block Packing Problem  
(レクトリニア図形配置問題に対する構築型解法)

氏名 胡 艶楠

## 論文内容の要旨

組合せ最適化問題は、問題の解が定義される空間や制約などが離散的である問題で、社会で現れる様々な問題は組合せ最適化問題として表現できる。直接的な応用として、乗務員スケジューリング、VLSI 設計、ネットワーク設計などが挙げられる。

代表的な組合せ最適化問題の中には、たとえば、最小木問題、最短経路問題、ネットワークフロー問題、マッチング問題などのように、多項式時間アルゴリズムを持つものが存在する。しかし、多くの組合せ最適化問題は、たとえば、ナップサック問題、巡回セールスマン問題、スケジューリング問題などのように NP 困難であることが知られており、現実的な計算時間で最適解を得ることは非常に困難である。その一方で、現実の問題では厳密な最適解が必要とされることはまれであり、適度な精度の近似解を現実的な計算時間で求める解法で十分に実用的であると考えられている。このような状況では、効率よく近似解を求める解法が有用となる。

本研究では代表的な組合せ最適化問題の 1 つである配置問題に対する近似解法を提案する。配置問題とは、配置すべきもの（製品と呼ぶ）の集合と配置される空間が与えられたとき、製品を空間内に、様々な制約の下で効率よく配置する問題である。この問題は、工学的に重要な意味を持つため、これまで多くの研究がなされてきた。最近では、長方形配置問題、多角形詰込み問題、直方体詰込み問題に対する研究が盛んである。これらの問題の直接的な応用先として、鉄鋼・ガラス・繊維などの素材産業、集積回路の設計、倉庫やトラックの効率的な運用などが挙げられる。計算の複雑度の観点から見ると、ほとんどの配置問題は NP 困

難に分類され、それらに対して多項式時間で厳密な解を求める手法は  $P \neq NP$  の仮定の下では存在しない。このような状況にあるため、性能の良い近似解法の開発が非常に重要であると考えられている。

配置問題に関しては活発な研究が行われているものの、単純な図形に対するシンプルな問題か、あるいは企業等で現れる実際の応用問題をモデル化した複雑な問題の両極端なモデルを対象とする場合が多い。とくに、2次元の配置問題においては、既存研究のほとんどが長方形配置問題と多角形配置問題に対するものであることが挙げられる。その中でも長方形はその扱いが容易であるため、これまで長方形配置問題に対して様々な研究が行われてきた。その結果、大規模な問題例にも適用できる高速なアルゴリズムも提案されているが、形状が単純であるため、応用が限られる。一方、一般の多角形配置問題はより多くの応用を持つが、一般的な形状の取り扱いが難しく、高速なアルゴリズムを作ることが困難であると考えられている。

本研究では、配置問題の中でもとくにレクトリニア図形の配置問題に焦点を絞り、性能の高い近似解法の構築を目的とする。レクトリニア図形は、長方形の集合で表現できる多角形、すなわち垂直もしくは水平線分で描かれる多角形である。レクトリニア図形配置問題は、レクトリニア図形の集合と幅が固定された容器が与えられたとき、レクトリニア図形を互いに重ならないように容器内に配置し、容器の高さを最小にすることを目的とする問題である。

レクトリニア図形配置問題は、長方形配置問題より格段に多くの工学的応用を持つ上、斜めの線分を持たないという特徴を活かして、一般の図形の配置問題に対するアルゴリズムよりも性能の高いアルゴリズムを設計できる可能性がある。具体的には、レクトリニア図形が長方形と似た構造を持っているという特徴を利用して、長方形配置問題に対する知見や成果を用いて高速・高性能なアルゴリズムを設計する。近似解法の性能を評価する尺度には様々なものがありうるが、本研究では理論的な計算オーダーおよび実際の計算速度に焦点をあてる。

本論文では、まず、レクトリニア図形を長方形の領域に詰め込む問題に対して、空の状態からひとつずつ図形を配置する構築型解法を提案する。配置戦略には各図形を最も低い場所の中でできるだけ左側に配置する、**bottom-left** 戦略と呼ばれる戦略を用いる。まず長方形配置問題に対して提案された二つの代表的な構築型解法である **bottom-left** 法と **best-fit** 法を、レクトリニア図形配置問題へ拡張する。

**bottom-left** 法は、初めに長方形を詰め込む順序を定め、なるべく下、同じ高さであれば、できる限り左に詰め込むことを繰り返す解法である。**best-fit** 法は、長

方形を詰め込む位置の候補の中で最も低い位置に注目し，そのような位置の間隙を最大限に利用できる長方形を詰め込むことを繰り返す解法である．**best-fit** 法は，もともと長方形の特殊性を活かした手法であり，長方形以外の形状へ拡張することは不可能であると思われていた．本論文では，**best-fit** 法に新たな解釈を与え，一般の図形配置問題へ拡張できることを示した．そして，既配置の複数の図形と新たに配置する長方形が与えられたとき，容器の中でその長方形を配置できる最も低い点を高速に計算できる **Find2D-BL** 法と呼ばれるアルゴリズムを利用し，**bottom-left** 法と **best-fit** 法の高速な実装を提案した．

計算実験により提案アルゴリズムの性能を検証した．既存研究では，配置すべき図形の数が 30 程度でも配置の計算に 2000 秒以上かかってしまう場合があることや，平均的な充填率が 90%程度になることが報告されている．本研究のアルゴリズムを用いると，配置すべき図形の数も 1 万個程度になっても 150 秒以内で計算が終了することを確認した．また，提案手法によって得られる配置の充填率が，図形の数が多い場合には平均的に 92%以上であることを観測した．

さらに，拡張したアルゴリズムに対して，新しい高度なデータ構造を提案し，高速な実装を開発した．データ構造は，詰め込む図形の形状ごとに平衡探索木を用意し，レクタリニア図形を配置するたびに各平衡探索木を適応的に更新するというものである．これを組み込んだ新しいアルゴリズムを提案し，その理論的計算量を評価するとともに，計算実験によりその性能を検証した．その結果，たとえば図形の数も 1 万個程度の問題例に対しても，新しいアルゴリズムでは 2 秒以内に解を得られることを確認した．

次に，レクタリニア配置問題に対して提案した **bottom-left** 法と **best-fit** 法によって得られる解の精度の改善に焦点を当てる．これらのアルゴリズムによって得られた配置を分析した結果，多くの場合において **best-fit** 法は **bottom-left** 法より良い配置を得ることを観測した．しかし，問題例によっては，**bottom-left** 法の方がより良い配置を得ることもある．そこで，**best-fit** 法の方が良い配置を得る問題例と **bottom-left** 法の方が良い配置を得る問題例の特徴を調査し，その観察結果に基づいて新しい構築型解法（**partition-based best-fit** 法（**PBF** 法）と呼ぶ）を提案した．**PBF** 法は，与えられた図形をグループに分け，グループごとに図形を容器に配置する方法であり，各グループを配置する際には **best-fit** 法をそのグループに含まれる要素に限定して利用する．**PBF** 法は，図形のグループ分けの仕方によって **bottom-left** 法と **best-fit** 法の両方を特殊な場合として含む枠組みである．図形をグループに分けるルールについても静的なルールと適応的なルールを含むさ

まざまなものを提案し検証した。計算実験により PBF 法の性能を検証した結果、PBF 法によって得られる解の精度が bottom-left 法と best-fit 法のいずれによるものよりもかなり高いことを確認した。PBF 法によって得られた配置の充填率は平均的に 93%以上であり、図形間のサイズのばらつきが大きい場合に PBF 法はとくに有効であることを観測した。

本研究で開発した高速な解法を、一般の図形をビットマップ形式で表現された図形に近似したビットマップ図形配置問題に適用することも可能である。すなわち、本研究の成果は一般の図形の配置問題にも応用できる。それでもなお、現実の応用においては様々な制約が必要であることが多く、本研究で提案した三つのアルゴリズムが直接適用できない問題も多数存在する。しかし、似ている構造を持つ問題であれば、本研究の成果の活用が期待できる。本研究で提案したアルゴリズムの効率的な実装のアイデアや理論的な成果が、組合せ最適化問題に対するアルゴリズム設計の一助になれば幸いである。