

# 頂点彩色問題に対する近似解法のための初期解生成アルゴリズム

内田恭貴(社会情報学科, 2015044)

**論文概要** 頂点彩色問題は古くから知られる NP 困難問題の1つで, スケジューリングなど様々な応用が知られている. そのため局所探索法を組み合わせた近似解法が数多く提案されてきた. 本研究ではこの局所探索法のための初期解生成アルゴリズムを提案する.

**キーワード** 頂点彩色問題, 近似解法, 初期解生成

## 1. 研究の目的

与えられたグラフに対する**頂点彩色問題**とは, できるだけ少ない種類の色を用いて, 隣接する頂点に同じ色が割り当てられないよう, すべての頂点に色を割り当てることを問う問題である. 現実での応用例としては, スケジューリング問題が挙げられる. 様々な制約の下, 与えられた仕事を効率良く遂行するためのスケジューリングを求める問題において, 頂点彩色問題の解法が役立つ[2].

頂点彩色問題はNP困難問題の1つで, 効率良く(=多項式時間で)最適解を求めることは絶望的と考えられる. そのため [3] のようなメタヒューリスティクス [1] に基づいた**近似解法**が提案されてきた. 多くの**近似解法**では PartialCol や TabuCol のような**局所探索法**がサブルーチンとして用いられる.

本研究では, こういった**局所探索法**を含む**近似解法全般**のための, 初期解生成を行う新しいアルゴリズムを提案する. また DIMACS のベンチマークグラフ [4] を用いて, 従来法より優れていることを実験的に示す.

## 2. 研究の方法

頂点彩色問題に対する一般的な近似解法では, 自然数  $k$  を適当に定め, 計算の結果, グラフが  $k$  色で彩色可能と判定されれば,  $k-1$  色の彩色可能性を探ることを繰り返し, 適当な終了条件が満たされれば計算を打ち切り, その時点での最良解を出力する.

この  $k$  色彩色可能性の判定計算について, 本研究で取り上げる PartialCol は**不完全解許容モデル**, TabuCol は**実行不能解許容モデル**の下でそれぞれ解空間の探索を行う. ここで不完全解許容モデルとは,  $k$  色のいずれも割り当てられない頂点を許容するもので, そのような頂点の個数が解の評価値である. また実行不能解許容モデルとは, 隣接する頂点に同じ色が割り当てられることを許容するもので, そのような頂点对の個数が解の評価値である. いずれのモデルにおいても, 評価値が 0 の解が見つければ,  $k$  色彩色可能と判定することができる.

PartialCol や TabuCol の初期解生成には, 従来 DSATUR や GREEDY などの欲張り法に基づいたアルゴリズムが用いられてきた. ところが,  
・直前の計算(すなわち  $k+1$  色彩色可能性の判定)の結果が何ら反映されないこと,  
・ $k$  が小さくなるほど, 初期解の質が相対的に悪くなること,  
などから本研究では, 直前の計算で得られた  $k+1$  色の割当を用いて,  $k$  色彩色可能性判定計算のための初期解を生成することを考える. アルゴリズムの概略を以下に示す.

### 提案アルゴリズム (不完全解許容モデル)

1.  $k+1$  色の割当のうち, 使用されている数が最も少ない色を求める
2. 使用数が最も少ない色を空白(色の塗られていない状態)へ変更する

### 提案アルゴリズム (実行不能解許容モデル)

1.  $k+1$  色の割当のうち, 使用されている数が最も少ない色を求める
2. 使用数が最も少ない色を空白(色の塗られていない状態)

へ変更する

3. 空白へ変更した頂点に  $k$  色のいずれかを割り当てる

## 3. 研究の結果

提案法, DSATUR, GREEDY を Partialcol と Tabucol の初期解生成アルゴリズムとして利用し, 最終的により少ない色でグラフを塗り分けできるものを, 性能が良い初期解生成アルゴリズムと見なすことができる. そのため提案アルゴリズムをC言語によって実装し, 既存の初期解生成アルゴリズム使用時と比較した. 実験には乱数の種を 10 種類ずつ設け, 10 種の最適解探索の実行結果を平均したものを比較した. 計算の終了条件は, チェック数が 10 億回を超えた時点としている. ただしチェック数は,  
・二つの頂点が隣接しているかどうかの判定,  
・ある頂点に隣接するすべての頂点の探索,  
・ある頂点に隣接する頂点が幾つあるかの判定,  
・ある頂点に何種類の色が隣接しているかの確認,  
がなされたときに計上される. 実験結果を表 1, 表 2 に示す.

頂点数が少ないインスタンス(250 頂点)については, どのアルゴリズムもほとんど差が見られなかったが, 頂点数が増えるにつれて徐々に差が生まれ, 頂点数が増えるほど提案アルゴリズムのほうが良い解を導くことが分かった.

表 1. Partialcol(出力解に使われる色の数の平均)

頂点数	DSATUR	GREEDY	提案法
250	29.0	29.0	29.0
500	133.1	132.9	130.7
1000	255.9	256.2	242.3

表 2. Tabucol(出力解に使われる色の数の平均)

頂点数	DSATUR	GREEDY	提案法
250	28.8	28.9	29.0
500	133.0	133.3	130.1
1000	272.3	273.3	240.6

## 4. まとめ

頂点彩色問題に対する近似解法のための新しい初期解生成アルゴリズムを提案した. 実験の結果, 特に頂点数が多いインスタンスにおいて, 既存の初期解生成アルゴリズムより有用であることがわかった.

今後は頂点の少ないグラフでも既存のアルゴリズムを超える性能を出せるようなアルゴリズムを模索する他, 大規模なグラフにおいてもより良い性能を出せるアルゴリズムを模索することも課題である.

## 5. 参考文献

- [1] 久保幹雄, J.P.ペドロソ: メタヒューリスティクスの数理. 共立出版, 2009.
- [2] R.M.R. Lewis: A Guide to Graph Colouring. Springer, 2016.
- [3] Q. Wu and J.K. Hao: Coloring Large Graphs Based on Independent Set Extraction. COR, Vol.39-2, 283-290, 2012.
- [4] DIMACS Graphs: Benchmark Instances and Best Upper Bounds: <http://www.info.univ-angers.fr/pub/porumbel/graphs/> (2018年10月29日確認)

# 画像構成パズル生成のためのタイル彩色問題

後藤大輝 (2015130, 社会情報学科)

**論文概要** 本研究では、画像構成パズル生成のためのタイル彩色問題を、整数最適化問題として定式化する。各部分問題が最大フロー問題であることに着目して整数制約の緩和を行なった結果、計算時間を大幅に削減することができた。

**キーワード** 画像構成パズル, タイル彩色問題, 整数最適化

## 1. 研究の目的

画像構成パズルとは、 $m$  枚の画像と  $n$  枚の単位正方形(タイル)が与えられ、この  $n$  枚のタイルを用いて、 $m$  枚の画像それぞれを構成することを問うパズルである。なお各画像はタイルの枚数と等しい  $n$  個のピクセルから成るものとし、各ピクセルには与えられた  $d$  色のうちいずれか 1 色が割り当てられているものとする。また各タイルは表と裏のそれぞれに、 $d$  色のうちいずれか 1 色が割り当てられているものとする。

山本ら [1] は、与えられた画像集合に対し、それを構成可能なタイルの彩色が存在するかどうかを問う決定問題(タイル彩色問題)を考え、解の存在性に関する必要十分条件を示し、 $m=3$  の場合の多項式時間アルゴリズムを与えた。なお  $m \geq 4$  の場合は NP 完全かどうか未解決である。

本研究ではタイル彩色問題を整数最適化問題として定式化する。この定式化では部分問題として最大フロー問題が現れることに着目し、一部の整数制約を緩和できることを示す。制約緩和の結果、計算時間を大幅に改善することができた。

## 2. 研究の手法

相異なる色の対の集合を  $P$  とする ( $P = \{\{1,2\},\{1,3\},\dots,\{d-1,d\}\}$ )。一方の面を色  $j$ 、もう一方の面を色  $k$  で彩色するタイル ( $\{j,k\}$ -タイル) の枚数を  $y_{j,k}$  とする ( $\{j,k\} \in P$ )。するとタイル彩色は

$$y_{1,2} + \dots + y_{d-1,d} = n \quad (1)$$

であるような整数変数の組  $(y_{1,2}, \dots, y_{d-1,d})$  で表すことができる。

与えられたタイル彩色に対する画像の構成可能性を定義する。画像  $i$  における色  $c$  のピクセル数を  $p_{i,c}$  とする ( $i = 1, \dots, m, c = 1, \dots, d$ )。各タイルの表裏の向き付けをうまく定めることで、すべての色  $c$  についてちょうど  $p_{i,c}$  枚のタイルが見えるようにできるとき、**画像  $i$  は構成可能**ということにする。

タイル彩色問題を、各画像  $i$  について、構成可能性に寄与するタイルの枚数を最大化する問題として捉える。 $\{j,k\}$ -タイルのうち、色  $j$  として用いるタイルの枚数を  $x_{i,j,k}$ 、色  $k$  として用いるタイルの枚数を  $x_{i,k,k}$  とすると、

$$x_{i,j,k} + x_{i,k,k} \leq y_{j,k} \quad (2)$$

が満たされなければならない。一方、色  $c$  のピクセルは  $p_{i,c}$  個存在するので、

$$x_{i,c,1,c} + \dots + x_{i,c,d,c} \leq p_{i,c} \quad (3)$$

が満たされなければならない。タイル彩色問題は、(1), (2), (3) の条件の下、整数変数  $x_{i,j,k}$  の総和を最大化する問題に帰着される。もし最適値が  $mn$  のとき、かつそのときに限り、すべての

画像が構成可能なタイル彩色が存在すると結論づけることができる。

なお画像  $i$  に対する制約式 (2), (3) の系は、タイルの枚数  $y_{j,k}$  を整数定数とみなすと最大フロー問題の制約とみなすことができる。したがって変数  $x_{i,j,k}$  は実数変数として取り扱っても差し支えない [2]。

## 3. 研究の結果

色の数  $d$ 、画像の枚数  $m$ 、ピクセル数(タイルの枚数)  $n$ 、色分布の決定法(完全ランダム or 偏りあり)を入力することで、問題例を生成し、そのタイル彩色可能性を判定するプログラムを Python で作成し、実験を行った。数理最適化ソルバには pulp ライブラリに標準搭載されている COC を用いた。

表 1 に、素朴な定式化による計算結果と、整数制約の緩和を行った場合の計算時間を示す。この実験では、 $d, m \in \{3, 4, \dots, 10, 12, \dots, 20\}$ 、 $n \in \{100, 200, 300\}$  とし、2 通りの分布、5 通りの擬似乱数について、計 5070 通りの問題例を解いた。

表 1 計算時間(秒)

	緩和なし	緩和あり
平均値	13.70	1.27
最大値	520.84	21.14
最小値	0.01	0.03

5070 通りの問題例のうち、彩色不可能なものは 191 個であった。彩色不可能となった問題例はすべて色分布に偏りがあるのである。また、色の数  $d$  と画像の枚数  $m$  が大きくなるほど、彩色不可能な問題例が現れやすい傾向が観察された。たとえば、 $d=8$  のとき彩色不可能な問題例はわずか 1 つであるが、 $d=20$  では 55 個存在した。

## 4. まとめ

今回の実験では入力した値を広めにとっていたので、次は入力する値をより細かくとって、彩色の可否の境界を調べていきたい。

## 5. 参考文献

[1] 山本陽平, 金森由博, 三谷純: 複数の正答を持つ単位正方形の組合せパズルに関する研究. 情報処理学会論文誌, Vol.56, No.6, 2015, pp.1507-1516.

[2] B. コルテ, J. フィーゲン: 組合せ最適化~理論とアルゴリズム~. シュプリンガー・フェアラーク東京, 2005.

# テレビはテレビであるのか？ -メディアの多様化時代におけるテレビのポジショニング-

松木啓悟（商学部商学科、2015325）

**論文概要** 多様化の一途を辿るメディアであるが、それが消費者にどのような意味を持つのかについて、十分な研究が行われているとは言えない。そこで本研究では、多様化するメディアの中で、消費者にとってテレビはどのような位置付けが可能かを検討し、テレビには何が求められているのかを明らかにする。

**キーワード** テレビ、メディアの多様化、ポジショニング

## 1. 研究の目的

近年、インターネットの技術革新と共にメディアの多様化が進んでいる。インターネットの使用時間が年々増加し、4大メディアで最も利用されているテレビの必要性は減少し続けている。テレビが必要だと答える人は男女全年齢で減少すると共に、その視聴時間も右肩下がりしている(NHK 放送文化研究所, 2015)。こうした状況が10年以上続いている中、既存研究ではインターネットの使用時間はテレビ視聴時間を削っておらず、同時並行利用の時間が増えたともされている(金, 2006)。

このようにテレビの利用実態に関する認識に混乱が見られる中で、筆者は二つの問題意識を持っている。一つ目に、多くのメディア研究において「インターネット」という言葉を一括りに使用していることである。インターネットという言葉には動画配信サービスや、SNS など多様化したメディアの数々が含まれていると考えられ、それらを判別して研究する必要があるだろう。二つ目に、インターネットの使用時間はテレビの視聴時間を、やはり削っているのではないかということである。既存研究においても、メディア利用の具体的な利用形態および利用動機を調査する必要性は論じられており(金, 2006)、各メディア同士の関わりを研究する必要があるだろう。

このような問題意識の下に、本研究では使用環境によって、どういったメディアが選択されるのかということについて調査・分析を行う。その上で、多様化するメディアの中において、テレビがどのような位置付けをすることが可能であるのかを検討し、「テレビには何が求められているのか？」について明らかにする。

## 2. 研究の方法

本研究では、メディアの使用環境についてのアンケート調査とその統計的分析を通じて、消費者にとっての各メディアのポジショニングをおこなう。その上で、テレビと他メディアとのポジショニングの相違に関する考察をおこなうことで、現代の消費者にとってテレビとはどのようなメディアとして認識されているのかを明らかにし、「テレビには何が求められているのか？」という問いに結論をえる。

アンケート調査においては、第一の問題意識であった「インターネット」が複数のメディアを包含する点に対応するために、より詳細な分類を採用した。またその際には、小林(2010)によって示されたメディアに加えて、テレビと共存・競合しうるかどうかを判断基準として、新たに複数のメディアを対象に加えて調査をおこなうこととした。具体的には、テレビ、新聞、Youtube、Twitter、ニュースまとめアプリなどを対象とした。

アンケートでは、比較対象とする全てのメディア使用環境について、7段階リッカート・スケールでの回答をえる。質問する使用環境については、既存研究で取り上げられているものに加え、テレビと似た状況、あるいは異なる状況で使用されることが想定される環境を採用した。

統計的な分析方法としては、各メディアの使用状況についてのコレスポンディング分析をおこなう。これにより、使用環境を集約した2つの次元を抽出し、そこに各メディアを配したポジショニング・マップが作成できる。

考察においては、上記で作成したポジショニング・マップ上のメディア間の相違に基づき、メディアの使用環境、メディアの使い分け、クロス方法等について論じ、テレビとはどのようなメディアだと理解できるのか、さらには「テレビには何が求められているのか？」を明らかにする。

## 3. 研究の結果

現在アンケート調査を行なっている段階であり、研究結果を示すことはできない。しかし、どのような形であれ、多様化するメディアの中にあつて、現代の消費者にとってのテレビのポジショニングが明らかにされることになり、それに基づく考察が可能になる。

## 4. まとめ

現在、研究途中であり、成果については詳細を述べる事が出来ない。しかし、多様化するメディアにおけるテレビのポジショニングが判明すれば、テレビというメディアであるからこそ出来ること、テレビにしか出来ないことを議論できる。

したがって、本研究を通じて得た結論は、放送市場縮小に苦むテレビ局に対する実務的貢献に繋がる。

さらに、過去のメディア研究において、メディアの多様化は理論的に語られるのみであったが、そのポジショニングを定量的に明らかにすることは、メディア研究における理論の精緻化という点で理論的貢献が期待できる。「同時に利用されやすいメディア」や、「異なる役割で利用されやすいメディア」など様々な組み合わせを用いて、メディア間のポジショニングを明らかにすることで、より精度の高いメディア研究とできる。

## 5. 参考文献

- ・NHK 放送文化研究所(2015),「2015年 国民生活時間調査」
- ・NHK 放送文化研究所(2015),「テレビ視聴とメディア利用の現在」
- ・金 相美(2006),「メディア利用行動におけるテレビとインターネットの同時的並行行動に関する研究——日記式調査(Time Use Survey)による分析結果を元に」
- ・小林 保彦(2010),「メディアの多様化と広告の未来」
- ・Ferguson. D. A & Perse. E. M, (2000) 「Interactive Digital Television: Technologies and Applications」

# (アマチュア・スポーツにおける観戦動機に関する研究 ～日本の高校野球および大学野球を対象とした実証分析～)

越後玲央 (商学科、2015049)

**論文概要** スポーツ・マーケティング論において、米国野球を対象としたプロとアマチュアの観戦動機についての先行研究が存在する。しかし、日本のアマチュア野球、とりわけ高校野球と大学野球の違いを鑑みると、既存研究とは異なる観戦動機が存在すると考えられる。そこで、本研究では、日本の高校野球と大学野球を考察の対象として、日本に固有の観戦動機とその尺度開発をおこなう。

**キーワード**

観戦動機、アマチュアスポーツ、野球

## 1. 研究の目的

スポーツ・マーケティング論においては、スポーツの観戦動機について多くの研究が蓄積されてきている。その論点は、大きく3つの視点から整理できると考える。それらは、競技による差異、同一競技内のカテゴリー差異、国や地域による文化的背景の差異である。

競技による差異に注目する研究が蓄積される中でも、特に多くの研究がなされているのが、野球に関する研究である。また野球には大リーグとマイナーリーグ、プロとアマチュアなど、多くのカテゴリーが存在することから、そのカテゴリー差異に注目する研究がなされている。例えば、Bernthal & Graham(2003)は、野球の中でも、マイナーリーグと大学野球では観戦動機が異なることを明らかにしている。さらに、同一スポーツ、同一カテゴリーであっても、観戦動機は地域や文化的背景によって異なることが指摘されている。松岡(2008)によれば、地域、国などの文化的背景の違いにより、その観戦動機は異なり、加えて競技種目や競技レベルによっても異なることが指摘されている。

これらのことから、スポーツ観戦動機研究を進める上では、対象とする競技とカテゴリー、地域といったコンテキストを明確にした研究が求められると考える。そこで、本研究の対象としたいのが、日本の高校野球と大学野球である。

先行研究の中では、競技レベルが高いほど、消費者の観戦動機を高めるとされている。しかし、日本の高校野球と大学野球を鑑みると、現状は理論とは異なる。日本のアマチュア野球の中では大きな人気を誇り、毎年多くの観客を動員する高校野球に対して、大学野球は高いレベルで行われているにもかかわらず、集客力については全く振るわないのが現状である。日本において、高校野球は観たことがある人であっても、大学野球は観たことがない、関心が無いといった人は少なくないだろう。この違いは何からもたらされるのであろうか？日本の高校野球の観客動員は、世界の中でも特殊な日本に固有の現象なのではないだろうか？

これらの問題意識に応えるべく、本研究では、日本の高校野球と大学野球を対象とした観戦動機の研究をおこなう。この研究を通じて、日本のアマチュア野球に固有の観戦動機の存在やその論理を明らかにしていきたい。またそれらに関する考察をおこなうことで、従来の研究では見過ごされてきた観戦メカニズムを提示して観戦動機研究への理論的貢献をするとともに、集客に悩む大学野球への実務的貢献を目指す。

## 2. 研究の方法

本研究では、日本国内におけるアマチュア野球の観戦動機、とりわけ高校野球と大学野球における観戦動機の相違、またそれらが日本に固有の現象であることを明らかにするために、アマチュア野球観戦経験者を対象とした高校野球と大学野球の観戦動機に関するアンケート調査とその分析をおこなう。

アンケート調査で利用する測定尺度は、松岡(2002)によるスポーツ観戦動機測定尺度(Sports Spectator Motivation Scale :

SSMS)に加え、日本の高校野球と大学野球の観戦動機の違いを測定するために必要と考えられた項目を追加して用いた。

統計的手法としては、因子分析を用いて、観戦動機の抽出をおこない、さらに SSMS との比較検討を通じて、観戦動機尺度の再評価と尺度開発をおこなう。より具体的には、高校野球と大学野球では異なる観戦動機が抽出されることを明らかにし、それらの違い、SSMS との違いから、日本のアマチュア野球観戦には固有の動機が存在していることを示す。

## 3. 研究の結果

現在調査中のため、詳細な結果を示すことはできない。しかし、どのような形であれ、高校野球と大学野球の観戦動機の相違が明らかになることになる。

万が一、観戦動機に大きな違いがみられないようであれば、そうであるにも関わらず集客に大きな差を生む要因は何かを考察する。あるいは、調整要因と想定できる変数によってサンプルを分割した上で再分析をおこない、観戦動機の違いをみることで、特定の条件下での観戦行動の違いを示す。

## 4. まとめ

日本のアマチュア野球の中でも、高校野球と大学野球の違いに着目することで、既存研究では明らかにされてこなかった日本に固有の野球観戦動機を示すことができれば、スポーツ・マーケティング論における新発見といえる。また、高校野球と大学野球の違いを示すこと、それらの測定尺度を開発することは、研究の精緻化を進めると言える。以上から、スポーツ・マーケティング論の観戦行動研究への理論的貢献が期待できる。

また、大学野球の観戦動機を明らかにすることで、集客に悩む大学野球への実務的貢献が期待できる。

## 5. 参考文献

- Bernthal and Graham(2003)  
「The Effect of Sport Setting on Fan Attendance Motivation: The Case of Minor League Vs. Collegiate Baseball.」
- 仲澤眞・吉田政幸(2017)  
「よくわかるスポーツマーケティング」
- 田村正紀(2006)  
「リサーチ・デザイン 経営知識創造の基本技術」
- 松岡宏高・藤本敦也・Jeffrey James (2002)  
「プロスポーツの観戦動機に関する研究 観戦動機の構造と測定尺度の開発」
- 丸 朋子(2010)  
「スポーツ観戦者の観戦動機に関する研究-アイスホッケー観戦者に着目して-」
- 原田宗彦・藤本敦也・松岡宏高(2008)  
「スポーツマーケティング」