5J-02

移動距離を考慮したプロ野球試合日程の自動生成
－リーグ再編と交流戦の考慮－

秋月　克仁†　　坂口　琢哉‡　　菱山　玲子†

早稲田大学創造理工学部経営システム工学科†　　広島修道大学経済科学部経済情報学科‡

1．研究の背景と目的

新型コロナウイルス感染症について，感染拡大時に全国的に移動することで感染リスクが高まることは明らかである．日本のプロ野球の開催には全国的な移動が避けられないため，2020年のプロ野球は開幕延期や日程短縮など，その興行に多大な影響が生じた．

こうした背景から本研究では，移動距離を抑制するスポーツスケジューリング問題について，継続的な移動削減と，感染症拡大時のプロ野球開催への影響の最小化を目的に，移動距離を考慮した試合日程の生成手法の提案および地区毎に分割するリーグ再編の提案を行い，実際に作成した日程に対して移動距離の削減率を検証した．

2．先行研究

坂口ら[1]によって，プロ野球にも該当する「ホーム＆ビジター方式」のリーグ戦を対象に，3層構造のニューラルネットワークを用いて各チームの移動距離が短い試合日程の作成手法を提案する研究が行われている．しかし，提案されている数理モデルでは，移動距離制約により，過剰な長期ロードが生じ，現実的ではない日程となる問題が存在する．また，実用可能性の確認として交流戦の日程については扱われていなかった．

本研究では，先行手法を応用し，交流戦日程の作成に対応するとともに，追加の制約で長期ロードの抑制も行った．

3．提案手法

3.1．問題設定

本研究で作成する交流戦日程の条件を述べる．1リーグのチーム数は，$T=4$とし，各チームは他リーグの全Tチームとホーム，ビジターでs試合ずつ，計$2sT$試合を1日1試合ずつ消化していく．この条件で，長期ロード，移動距離を抑制した日程を作成するための制約を以下に示す．

制約1　各ビジターチームとのホームでの対戦数はs試合
制約2　各チームは1日1試合だけに登場
制約3　各チームの移動距離を抑制
制約4　同一相手との連戦を2試合までに抑制
制約5　ビジターゲームの連続を3試合までに抑制

上記の制約のうち，制約1，制約2は試合日程を作成するうえでの絶対条件である．一方，その他の制約はあくまで付加的な条件であり，提案モデルはこれらを考慮するものの，その最適解は保証しないものとする．

3.2．ネットワーク

前節で設定した問題を，試合日程層，制約1層，制約2-1層，制約2-2層の計4層構造のニューラルネットワークを用いて解決する．試合日程層は，図1のように$2sT$枚の$T\times T$マトリクスの各格子に2個のニューロンが配置されている構造で，これらのニューロンn_{kijl}の出力値y_{kijl}は内部電位x_{kijl}に基づいて次式で与えられる．θは閾値，hはヒステリシス係数である．

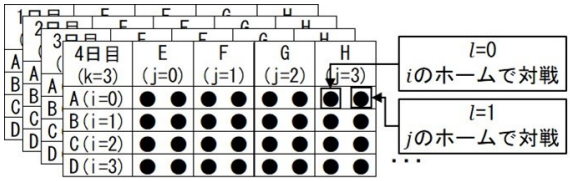

図1．試合日程層ニューロンのデータ構造

$$y_{kijl}=\begin{cases}1 & (\theta+h\le x_{kijl})\\ y_{kijl} & (\theta-h\le x_{kijl}<\theta+h)\\ 0 & (x_{kijl}<\theta-h)\end{cases} \tag{1}$$

制約1層，制約2-1層，制約2-2層は試合日程層の上位に存在し，制約1層のニューロン$m_{ijl}^{(1)}$はチームiとjの会場lでの対戦数を，制約2-1層のニューロン$m_{ki}^{(2)}$はk日目のチームiの試合数を，制約2-2層のニューロン$m_{kj}^{(3)}$はk日目のチームjの試合数を監視している．制約層と試合日程層は相互に状態を把握し，フィードバックを受けながら制約を満たす日程へと徐々に近づいていく．

試合日程層から各制約層への層間結合式は次式で定式化される．なお，$m_{ijl}^{(1)},m_{ki}^{(2)},m_{kj}^{(3)}$の出力値$v_{ijl}^{(1)},v_{ki}^{(2)},v_{kj}^{(3)}$はそれぞれの内部電位$u_{ijl}^{(1)},u_{ki}^{(2)},u_{kj}^{(3)}$に対し線形に変化する．

$$v_{ijl}^{(1)}=u_{ijl}^{(1)}=-\left(\textstyle\sum_k y_{kijl}-s\right) \tag{2}$$
$$v_{ki}^{(2)}=u_{ki}^{(2)}=-\left(\textstyle\sum_j\sum_l y_{kijl}-1\right) \tag{3}$$
$$v_{kj}^{(3)}=u_{kj}^{(3)}=-\left(\textstyle\sum_i\sum_l y_{kijl}-1\right) \tag{4}$$

制約3，制約4，制約5は試合日程層での層内結合によって符号化されている．制約3の符号化として，ホーム・ビジター間の移動，複数のビジター間の移動を考慮し，対応するニューロンと抑制結合させる(式(5))．d_{ij}は会場iとjの距離を格納したサイズ$2T\times 2T$のテーブルである．

$$\Delta x_{kijl}^{(1)}=\begin{cases}-\left(\begin{array}{l}\sum_m y_{(k-1)im1}d_{i(m+T)}+\\ \sum_m y_{(k-1)mj1}d_{i(j+T)}+\\ \sum_m y_{(k-1)mj0}d_{im}\end{array}\right) & (l=0)\\ -\left(\begin{array}{l}\sum_m y_{(k-1)mj0}d_{(j+T)m}+\\ \sum_m y_{(k-1)im0}d_{(j+T)i}+\\ \sum_m y_{(k-1)im1}d_{(j+T)(m+T)}\end{array}\right) & (l=1)\end{cases} \tag{5}$$

制約4の符号化として，n_{kijl}の$k-1$日目に同一カードが異なるホームで行われる場合と，$k-1$日目と$k-2$日目に同一カードが同じホームで行われる場合にそれぞれに対応するニューロンと抑制結合させる(式(6))．

$$\Delta x_{kijl}^{(2)}=-\left(y_{(k-1)ijl}\times y_{(k-2)ijl}+y_{(k-1)ij(1-l)}\right) \tag{6}$$

制約5の符号化として，n_{kijl}の$k-1$日目～$k-3$日目がビジターで行われる場合に対応するニューロンと抑制結合させる(式(7))．

$$\Delta x_{kijl}^{(3)}=\begin{cases}-\prod_{K=k-3}^{k-1}\sum_m y_{Kmjl} & (l=0)\\ -\prod_{K=k-3}^{k-1}\sum_m y_{Kiml} & (l=1)\end{cases} \tag{7}$$

そしてフィードバックとなる，制約層から試合日程層へ

Automatic scheduling for professional baseball league by considering moving-distance optimization
†Katsuhito Akizuki, Reiko Hishiyama・Waseda University
‡Takuya Sakaguchi・Hiroshima Shudo University

Copyright ©2021 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.

の結合は式(8)によって定式化される．ただし，$\alpha > 0, \beta > 0, \gamma > 0, \varepsilon > 0, \zeta > 0$であり，それぞれ制約 1，制約 2，制約 3，制約 4，制約 5 の影響力を表すパラメータである．

$$\Delta x_{kijl} = \alpha v_{ijl}^{(1)} + \beta v_{ki}^{(2)} + \beta v_{kj}^{(3)} + \gamma \Delta x_{kijl}^{(1)} + \varepsilon \Delta x_{kijl}^{(2)} + \zeta \Delta x_{kijl}^{(3)} \quad (8)$$

3.3. アルゴリズム

前節の動作式に従い，問題解決を行う手順を示す．最初にすべてのxを$[0,1)$の一様乱数で初期化した後は，以下に示す手順を 1 ターンとして繰り返す．

Step1　式(1)によりyを計算
Step2　式(2)，(3)，(4)により$v^{(1)}, v^{(2)}, v^{(3)}$を計算
Step3　すべての$v^{(1)}, v^{(2)}, v^{(3)}$の値が 0 の場合，動作終了
Step4　式(5)，(6)，(7)，(8)によりxを更新

また，初期状態が解まで遠かった場合や局所解に陥ってしまった場合に対処する目的でxを 10,000 ターンごとに初期化することとした．

3.4. リーグ再編

本研究では，BC リーグで地区制が導入された事例[2]を参考に，表 1 のようにプロ野球 12 球団を本拠地が近い 4 チームずつに分け，3 リーグ制にすることを考えた．これにより，交流戦以外は地区内での移動となるため，遠隔地域への感染症拡大防止や局所的な感染拡大の影響を受けずシーズンを継続できるといった利点が考えられる．一方，1 リーグのチーム数が減ることで同じチームとの対戦が増えることが懸念されるが，その点については交流戦を現在よりも充実させることで対応した．

表 1．各リーグの所属チーム

現行

セ・リーグ	パ・リーグ
巨人	日本ハム
ヤクルト	楽天
DeNA	西武
中日	ロッテ
阪神	オリックス
広島	ソフトバンク

⇒

リーグ再編後

北部リーグ	東部リーグ	西部リーグ
日本ハム	巨人	オリックス
楽天	ヤクルト	阪神
西武	DeNA	広島
ロッテ	中日	ソフトバンク

4. 日程生成実験

提案手法の評価のため，モデルを実装し，実験を行った．各パラメータは，提案モデルで交流戦日程を作成の場合$\alpha = \beta = 0.01, \gamma = 0.000001, \varepsilon = 0.001, \zeta = 0.002,\ \theta = 1.0,\ h = 0.1$とし，先行手法[1]を踏襲したリーグ戦日程作成の場合は，$\varepsilon = 0.002, \zeta = 0.001$に変更した．

4.1. 交流戦日程作成モデルの評価

モデルの有効性を示すため，sを変化させ，試合日程の作成に要したターン数を測定した．その結果を図 2 に示す．日程作成に要したターン数は 10 回の平均とした．

交流戦日程の場合，チーム数$2T = 8$，試合数$2sT$において，各試合日に各チームが対戦する可能性のある試合はそれぞれT試合存在するので，全体の探索空間は$2^{T \times 2T \times 2sT}$となり，$s$について指数関数的に拡大していく．一方，提案モデルでは，図 2 よりsについて線形関数に従う傾向が見られ，リーグ戦の日程作成[1]と同様に，探索空間の拡大率に対して効率的に日程を作成できると考えられる．

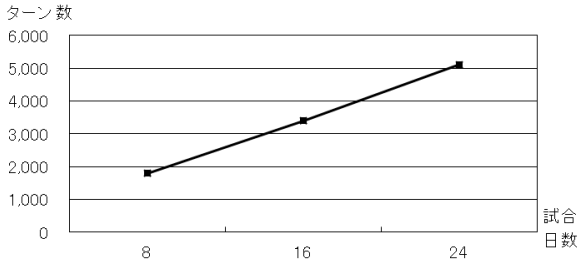

図 2．試合数の増加に伴う収束ターン数の推移

4.2. 長期ロード抑制制約の評価

制約の効果を確認するため，制約 5 を考慮した場合と無視した場合について，作成されたリーグ戦日程の移動距離，最大連続ロード数を測定し，有意水準 5%で 2 標本t検定を行った．データは$s = 5$での出力日程 10 回分とした．その結果，制約 5 を考慮することで最大連続ロード数は 5.3 試合から 3.7 試合に有意に減少した一方で，移動距離は 25,140km から 26,000km に増加したが 2 標本の平均値が等しいという帰無仮説は棄却されなかった．以上より，最大連続ロード数の削減が見られた一方，移動距離の平均には有意差が見られなかったことから，制約 5 を追加することで移動距離に大きな影響を与えずに，長期ロードを抑制し現実的な日程に近づけることができると考えられる．

4.3. 実日程との比較

リーグ再編の有効性と日程作成モデルの実用性を検証するため，リーグ再編後のペナントレースを想定してリーグ戦・交流戦の日程を提案モデルで作成し，各チームの移動距離を算出した．作成された日程の移動距離と，同じ球場間距離を用いてで計算された 2019 年プロ野球公式戦日程における実際の移動距離の比較を図 3 に示す．

作成された日程は，現状に比べ総移動距離を 57.9%に抑えている．また，元々移動距離の短かったチームの削減率より，移動距離の長かったチームの削減率が大きくなっており，チーム間での移動の不公平感の改善も見られ，提案モデルは移動距離削減に対して有効だと考えられる．

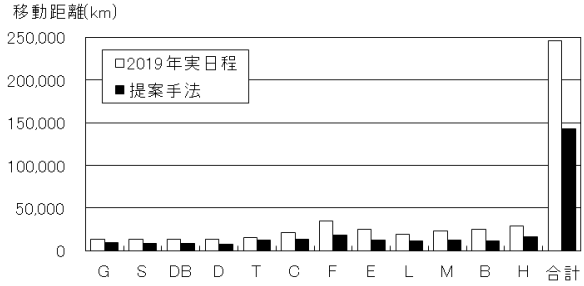

図 3．各チームの移動距離

5. まとめと今後の課題

本研究では，交流戦の日程作成を目的としたモデルを提案し，効率的で有効なモデルであることを示した．また，既存手法の制約を追加，変更し，より現実的な日程が作成できることを示した．最後に，感染症リスクに備え提案したリーグ再編案をもとに 1 シーズンの日程を作成し，プロ野球公式戦日程との比較から実用可能性も示せた．

今後の課題としては，チーム数を増やした際の爆発的な探索空間の拡大への対応などが挙げられる．また，ネットワークの収束時間への影響が大きい各パラメータの最適値の模索や移動距離以外の様々な要素を考慮した日程の生成についても検討していきたい．

参考文献

[1] 坂口琢哉，石崎俊：ニューラルネットワークによる移動距離を考慮した試合日程の自動生成，情報処理学会論文誌数理モデル化と応用（TOM），Vol.46, No.SIG10(TOM12), pp103-110 (2005)．
[2] BC リーグ：BCL 新型コロナウイルスの影響をふまえたリーグ運営ガイドライン(2020)，入手先<https://www.bc-l.jp/pdf/guide.pdf>，(参照 2020-12-04)

Copyright ©2021 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.