その最適解は，実務に使えるか

山本　政，永井　秀稔

計画業務における最適化手法の適用では，最適化問題を適切に解くことも重要であるが，最適化手法に解かせる問題設定と，解を確認・修正するためのユーザインターフェイスの良し悪しも同様に重要なポイントである．これらを考えるうえでは，人とシステムの適切な役割分担を考えることが欠かせない．

本稿では，計画業務に最適化手法を適用した事例の一つであるJリーグ・マッチスケジューラー「日程くん」事例を題材に，最適化手法の実務適用における人とシステムの適切な役割分担と，その設計方法について議論する．

キーワード：組合せ最適化，計画自動立案，情報システム

1. はじめに

生産計画・物流計画・要員計画などの計画業務の分野では，計画を自動立案する手法の一つとして，最適化手法が活用されている．近年のハードウェアとアルゴリズムの性能向上に伴い，その応用範囲は，熟練者の知恵を必要とするような複雑な計画業務にも広がってきている [1, 2]．そのような実務においては，人はデータ化されていない情報も含めた幅広い状況を考慮しながら，暗黙知も活用して意思決定を行っている．これらの知識を，最適化問題の定義に落とし込むことは容易ではない．

最適化手法の実務適用では，実務における意思決定の中から，最適化手法で解く問題を適切に切り出すことが重要となる．解けるサイズ・複雑さの問題に切り出すことはもちろんだが，システムの実用性を考慮すると，業務の性質に合わせた問題の定義が重要となる．特に，あいまい性のある事項は無理に数理モデルへ押し込むことはせずに，人に判断を委ねたほうがよいケースも多い．また，人に判断を委ねる部分を残すからには，自動立案結果を確認・修正するためのユーザインターフェイスにも計画業務特有の工夫が必要となる．

このとき，システムは計画立案のどこまでを最適化問題として取り込み，どのようなユーザインターフェイスをもつべきだろうか．この課題は，複数の論文で取り上げられている [3, 4] が，具体的な解決策や設計手法については，筆者らの知る限りではあまり見受けられない．

やまもと　まさし，ながい　ひでとし
新日鉄住金ソリューションズ株式会社技術本部システム研究開発センター
〒 220–8401 神奈川県横浜市西区みなとみらい 3–3–1 三菱重工横浜ビル 13F

本稿では，この課題に対する筆者らの取り組みを紹介したい．2 節では，具体例として，Jリーグ・マッチスケジューラー「日程くん」の事例を紹介する．「日程くん」では，問題設定を制約充足問題としたことと，制約間の矛盾箇所を提示するユーザインターフェイス機能によって，人にとって納得感のある計画立案を行える仕組みを実現した．3 節では，適切な問題設定とユーザインターフェイス設計の実現に向けた取り組みとして，デザインシンキングを適用した開発アプローチを紹介する．

2. Jリーグ・マッチスケジューラー「日程くん」

「日程くん」は，年間合計およそ 1,000 試合に上るJリーグの各リーグ戦の対戦カードを自動立案する情報システムである [5, 6]．

Jリーグでは対戦カードの作成に先立ち，試合の実施日を決定し，各クラブに伝えている．各クラブは試合日のスタジアム確保を行うが，押さえられない日はアウェイ開催の要望としてJリーグに伝えられる [7]．これが，対戦カードの作成条件の一つとなる．

リーグ間の入替戦や，天皇杯の結果も作成条件となる．これらの結果により，リーグ間の昇格クラブと降格クラブ，カップ戦のシードクラブが決まるためである．そのため，対戦カードの作成条件が出揃うのは，元日に行われる天皇杯決勝終了後となる．

一方，翌シーズンの試合日程の発表は，例年 1 月下旬に行われる．発表に至るまでに，段階を追って関係者の確認・承認を得るフローが必要であるため，逆算すると，担当者に残される作成期間は元日からおよそ 5 日間となる．Jリーグの担当者は，例年正月休みを返上して対戦カードの作成業務にあたっており，リーグ運営の裏方では，このような努力も行われている．

この 5 日間という短期間に，人手のみで対戦カード

Copyright ⓒ by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

を組むことが困難であることから，J リーグでは従来より，対戦カードを自動立案するシステム「日程くん」(以下,「日程くん（旧)」とする）を導入し，作業の効率化を行っていた．しかし「日程くん（旧)」では，以下の点が改善課題として挙がっていた．

・クラブ数の増加に伴い，処理時間が長くなっていた．1 パターンの対戦カード案の導出に，J1 リーグでは 2 時間，J2 リーグでは最大で 1 日程度の時間がかかっていた．

・複数の条件がバッティングすることにより解なしが発生したときに，解なしの原因となる条件の特定に大きな時間と労力がかかっていた．

これらの課題に加え，2014 年の J3 リーグ発足に伴い，対戦カード作成業務の増加が見込まれていた．このことを契機に，J リーグでは新しい「日程くん」(以下，単に「日程くん」とする）への刷新を行った．

対戦カードの作成は，J1 リーグ・J2 リーグ・J3 リーグ・カップ戦グループリーグの四つについて実施する．リーグごとに少しずつ条件は異なるが，多くの条件は共通している．対戦カード作成における，主な考慮条件を以下に挙げる．

(a) 大会ルール
運営上のルールであり，必ず守る条件
2 回戦総当たり（J3 リーグは 3 回戦総当たり)，ホーム・アウェイの試合数など

(b) 試合条件の考慮
さまざまな事情により，なるべく守りたい条件
各クラブからの要望，試合会場のバッティング回避など

(c) 試合日程の公平性
競技面・クラブ運営面での公平性の観点から，各クラブ平等にしたい指標
アウェイ試合が 2 連続となる回数，平日ホーム開催試合数など

「日程くん」では，四つの各リーグ戦を，それぞれ個別の混合整数計画問題に定式化している．定式化においては，基本的に (a)〜(c) のすべての条件をハード制約とし，制約充足問題として解いている．(b) に挙げた試合条件は個別に守るかどうかのオン・オフ設定を行えるようにし，(c) に挙げた公平性の指標は，指標ごとに上限値・下限値をユーザが設定することでハード制約として扱っている．

また，ソルバーの IIS (Irreducible Inconsistent Subsystem) [8] 検出機能を用いて，解なし発生時にその原因となる制約条件群をユーザに示す機能を設けた（図 1 参照)．

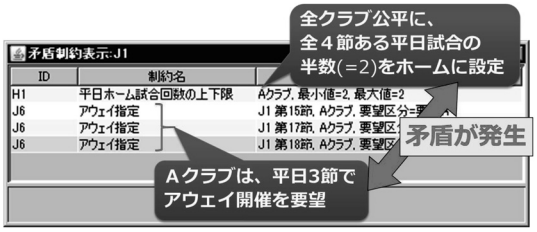

図 1　制約条件の矛盾箇所の提示例

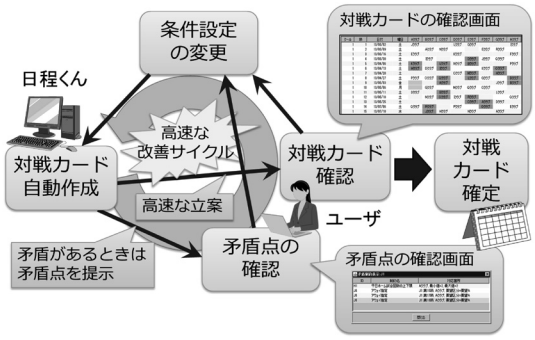

図 2　高速な改善サイクル

なお性能面では，新しいハードウェア，最新バージョンの混合整数計画ソルバーの利用，定式化の工夫，パラメータチューニングなどによって，1 パターンの対戦カード案を得るための時間が J1 リーグで約 3〜5 分，J2 リーグで約 40〜60 分と大幅に短縮した．

これらの機能強化により，処理時間と解なし原因調査の課題を解決し，対戦カード案の改善サイクルを高速に回すことができるようになった．具体的な流れは，以下のとおりである（図 2 参照)．

(1) 設定した条件に従い,「日程くん」が短時間で対戦カード案を作成
解が得られた場合 →(2) へ
解なしの場合は，矛盾する制約条件群を検出してユーザに提示 →(3) へ

(2) ユーザは，対戦カード案を確認し，満足のいく対戦カード案が得られれば終了
公平性の指標でさらに改善したいポイントがあれば，その閾値の設定を修正し,「日程くん」に対戦カード案の作成を指示 →(1) へ

(3) ユーザは，矛盾する制約条件群を確認し，いずれの制約条件を緩和するかを判断する
緩和する制約条件をオフに設定（公平性指標の場合は閾値を緩和）し,「日程くん」に対戦カード案の作成を指示 →(1) へ

 Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

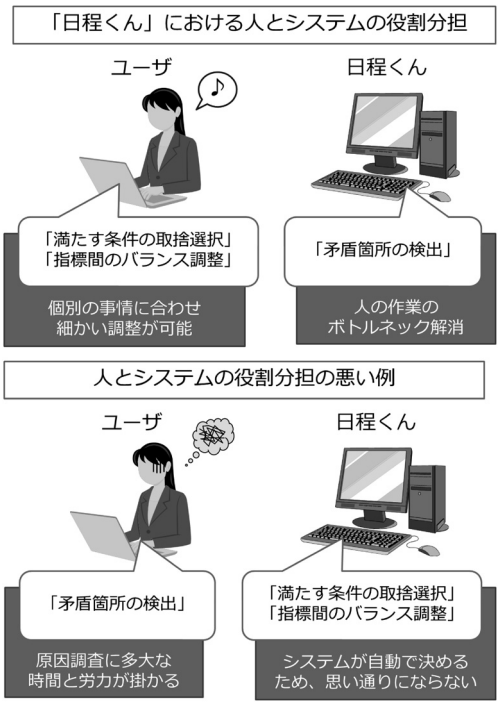

図 3　ユーザと「日程くん」の間の役割分担

対戦カード案を作成する問題の設定としては，(c) に挙げた公平性の指標を点数付けし，(b) の試合条件をソフト制約として条件違反時にペナルティ点数を課す形で，(b) と (c) の条件を目的関数に組み入れる方法も考えられるが，ユーザの業務全体を考えるとうまくいかない．

(b) と (c) の条件を目的関数に組み入れると，「(b) の試合条件の中で満たすもの・満たさないものの取捨選択」と「(c) の公平性指標間のバランス調整」は，「日程くん」が目的関数値に従って自動で決定することになる（図 3 下）．しかし，(b) に含まれるクラブの要望は個別に背景の事情が異なり，要望の度合いも変わってくるため，同時に満たせない複数の要望があるときは，採否を人が判断したいケースもある．また満たせない要望に関して，クラブに対し理由の説明や代替案の提示を行えることが望ましい．

そのため「日程くん」では，問題設定を制約充足問題として，「満たす条件の取捨選択」と「指標間のバランス調整」は人の役割とした（図 3 上）．また，以下 2 点のユーザインターフェイス機能によって，個別の事情に合わせて対戦カードを細かく調整することが可能となった．

・ユーザが個別の条件のオン・オフ（公平性指標の場合は閾値）を設定可能とする

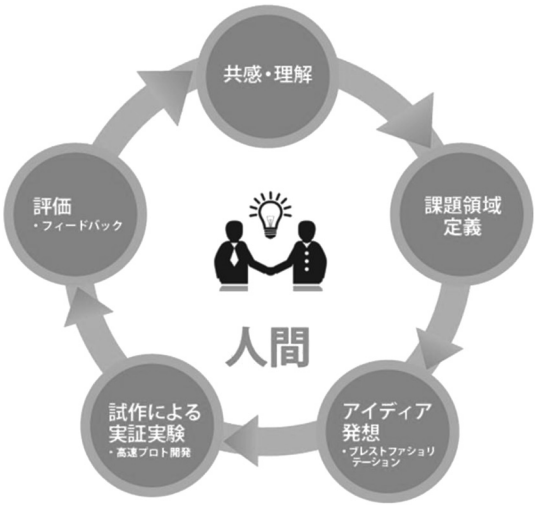

図 4　デザインシンキングのアプローチ

・条件を満たせないときは，矛盾箇所をユーザに提示する

このように，業務の性質に合わせて，人とシステムの役割を適切に分け，その役割分担に合わせて人とシステムの連携が円滑に行えるユーザインターフェイスを用意することが，使いやすく実務で役立つシステムとするうえでのポイントであると考える．

3.　デザインシンキングを適用したシステム開発アプローチ

業務に合わせて人とシステムの役割分担を考え，それを踏まえた仕組みを作るには，どのように最適化問題の設定とユーザインターフェイス設計を行えばよいだろうか．本節では，これを考える難しさについて議論し，筆者らの取り組みについて紹介したい．

計画業務における最適化手法の適用では，人が計画立案において利用している暗黙知を洗い出し，具体的なシステム設計に反映していかなくてはならない．これらの暗黙知に対応するためのシステム開発方法として，筆者らは以前よりスパイラル型の開発方法を採用してきた．繰り返し開発の過程でシステム設計を明確化・具体化・補正していくことで，システムのあるべき姿に近づけていくアプローチである．

さらに近年では，これに加えてデザインシンキング [9, 10] を取り入れた開発方法に取り組んでいる．デザインシンキングによるアプローチは，以下の考え方に基づいている（図 4 参照）．

・「共感・理解」「課題領域定義」「アイディア発想」「試作による実証実験」「評価」を素早く繰り返し

Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

図 5　病床管理アプリの画面モックアップ

ながら新しいモノを創造する

・「人」にフォーカスし，人の行動，人の感情から洞察を得る

デザインシンキングのアプローチは，さまざまな分野に適用可能であり，IT の分野でも活用が進んできている．最適化手法を適用するシステムの開発では，試作と評価を素早く繰り返す点など，従来からの取り組みとの共通点もあるが，特徴的なものをいくつか挙げると以下のとおりである．

・行動観察を通じ，現状に対する理解を深める．客観的に観察することで，ヒアリングだけでは得られない気づきを得る．

・極力手間をかけず，素早く試作し，検証する．画面であれば，スケッチやモックアップから始める．試作と検証を何度も繰り返すことで，できるだけ多くのアイディアを試し，多数のフィードバックを得てブラッシュアップしていく．

・人間中心で考える．「システムはどういう機能を備えるべきか」ではなく，「ユーザはどうなれば嬉しいか，メリットを受けられるか」を起点に考える．

ここで，デザインシンキングを適用した，筑波大学附属病院の病床管理 IT 化の研究事例を紹介する．

筑波大学附属病院では，入院患者を病床に割り当てる作業は，看護師が紙媒体にて実施しており，また調整のためのベッドコントロール会議には医師と看護師の多大なマンパワーが割かれていた．この状況を改善するため，病床管理 IT 化検討委員会が立ち上げられ，病床管理プロセスの自動化，IT 化の検討が始まった [11]．この活動において，新日鉄住金ソリューションズは筑波大学との共同研究として，病床管理のタブレットアプリの試作を行った．

アプリの試作に先立ち，ベッドコントロール会議における行動観察と，関連部門へのヒアリングを実施した．会議では，人が紙に書き込みながら試行錯誤を行うシーンが多く見られたため，タブレット上で試行錯誤が容易に行えるアプリが役立つのではないか，という仮説を立てた．これを基に，画面のモックアップ（図 5 参照）を製作し，ユーザの評価を受けた．具体的な画面モックアップがあることで，IT に詳しくないユーザにもイメージが湧きやすく，早い段階から新システムを用いた業務について議論を重ねられ，実用面から有用なフィードバックを受けることができた．行動観察やユーザ評価を繰り返すことで，少しずつ業務の本質が見えてきた段階で，実際に動くプロトタイプアプリ（図 6 参照）を製作し，ユーザに試用してもらうことで実務適用に向けたフィードバックを受け，病床管理業務のどこを IT で支援していくとよいのかを整理していった．共同研究を通じてでき上がったアプリはユーザより好評を得ており，実務面での効果発揮が期待されている．

この事例では，デザインシンキングをベースとしたアプローチをとることで，IT に詳しくないユーザとともに，誰もが完成形のイメージをもたない状態からスタートして，業務の仕組みを変える新しいシステム案を創り出すことができた．

最適化手法の実務適用においても，適切な人とシステムの役割分担を考えたとき，完成形のイメージを予めもつことは難しいであろう．そのとき，適切な問題設定やユーザインターフェイス設計を考えるうえでは，デザインシンキングのような発想法が有効ではないかと考える．

4.　おわりに

最適化手法の進化に伴い，より大きく複雑な問題が解けるようになった．実務においてもより複雑で難しい対象へと適用が進んできており，「解を実務で活用すること」の難しさが増してきていると感じている．「その最適解は，実務で使えるか」という題には，最適化手法の進化と同様に，実務での活用方法も進化させていきたいという筆者らの思いを込めている．

 Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

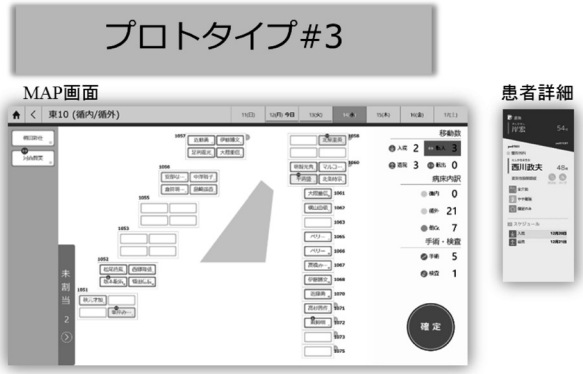

図 6　病床管理アプリの画面プロトタイプ

本稿では特定の事例における具体的な取り組みを中心に紹介したが，根底にある考え方は他の事例においても通用すると考える．幅広い応用分野での最適化手法の活用に向けて，本稿の内容が少しでも参考になれば幸いである．

参考文献

[1] 濱利行，“特集にあたって，”オペレーションズ・リサーチ：経営の科学，**56**, p. 632, 2011.

[2] 小林敬和，北條成人，岩村健，伊藤邦春，“エージェント技術による現場力向上イメージの明確化のためのシナリオ，”鉄と鋼，**97**, pp. 320–325, 2011.

[3] 岩谷敏治，“製鉄所におけるスケジューリング業務のシステム化に求められる技術，”オペレーションズ・リサーチ：経営の科学，**56**, pp. 660–665, 2011.

[4] 山口収，渡辺敦，笹井一志，田野学，天沼陽介，古家辰弥，“薄板生産管理システムへの最適化・シミュレーション技術の適用，”オペレーションズ・リサーチ：経営の科学，**56**, pp. 640–645, 2011.

[5] 新日鉄住金ソリューションズ株式会社プレスリリース,「新日鉄住金ソリューションズ，J リーグの 2014 年試合日程の作成を組合せ最適化ソリューションで支援」, http://www.nssol.nssmc.com/press/2014/20140403_110000.html（2015 年 10 月 6 日閲覧）

[6] 新日鉄住金ソリューションズ株式会社 ユーザー事例,「公益社団法人日本プロサッカーリーグ（J リーグ）様 公式戦の試合日程自動作成システムを刷新改善サイクルの高速化で公平性を最大化」, http://www.nssol.nssmc.com/casestudy/usercase/1440.html （2015 年 10 月 6 日閲覧）

[7] 飯尾篤史,「J をめぐる冒険：J の劇的な試合日程は，こう作られる．ドラマを生む『新・日程くん』に迫る！」, Number Web, http://number.bunshun.jp/articles/-/783543（2015 年 10 月 6 日閲覧）

[8] John W. Chinneck, “Feasibility and Infeasibility in Optimization,”A tutorial for CP-AI-OR-07, http://www.sce.carleton.ca/faculty/chinneck/docs/CPAIOR07InfeasibilityTutorial.pdf（2015 年 10 月 12 日閲覧）

[9]「デザイン・シンキングとは何か」, NIKKEI DESIGN, http://business.nikkeibp.co.jp/article/design/20140508/264172/ （2015 年 10 月 6 日閲覧）

[10] 安藤幸央,「安藤幸央のランダウン (68)：技術者／開発者のための『デザイン思考』超入門～今日から手軽にできる, Design Thinking の心掛け～」, @IT, http://www.atmarkit.co.jp/ait/articles/1505/25/news019.html（2015 年 10 月 12 日閲覧）

[11] 鵜飼孝盛，吉瀬章子，“病床自動割当システムの作成，”オペレーションズ・リサーチ：経営の科学，**58**, pp. 634–640, 2013.

Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.