

## サービス業におけるシフト・スケジューリングモデルの提案

## Excel アドイン機能を利用したスケジューリング表作成

荒谷洋輔<sup>1</sup>，松岡茉生<sup>2</sup>，木村寛<sup>3</sup><sup>1,2,3</sup> 秋田県立大学 システム科学技術学部経営システム工学科

パート・アルバイトが主力となる各サービス業の責任者は、シフトの作成時間が労働時間の大きなウェイトを占めている。しかし、働く人各々に勤務可能時間や勤務可能日などの制約があるため、すべての制約を満たすスケジューリングを手作業で短時間に作成することが難しい。本論文では、池上敦子(2018)のナース・スケジューリングモデルを応用し、短縮された労働時間の中でシフト作成にかかる時間を少なくするための、シフト・スケジューリング問題について取り扱う。実際の秋田県内のサービス業におけるデータを用いて、以下の i), ii) を目的とした店舗シフト・スケジューリングモデルを作成し最適解を導出する。i) 与えられた勤務人数や勤務時間、営業時間についての制約条件を数式で構築し、与えられた条件下で制約条件を違反する度合いを最小化するモデルを作成する。作成した数理モデルは SIMPLE 言語を用いてプログラミングし、Numerical Optimizer による数値計算を行い最適解を導出する。ii) 与えられた上記の制約条件下で正社員と非正社員の勤務日数の最小化を目的とするモデルを作成する。作成したモデルは Numerical Optimizer を用いて最適解を導出し、Excel アドイン機能を利用して勤務表を Excel 表の形で出力する。

キーワード：シフト・スケジューリング，最適化理論，数理モデル，Numerical Optimizer

## はじめに

## 研究背景

近年、少子高齢化に伴い生産年齢人口は減少しており、働く方々のニーズの多様化が問題となっている。こうした課題に対応するために国では「働き方改革」が推進されている。厚生労働省によると「働き方改革」は、働く人々が個々の事情に応じた多様で柔軟な働き方を自分で「選択」できるようにするための改革である。「働き方改革」の実現に向けた具体的な取り組みの一つとして、長時間労働の是正があげられる。時間外労働の上限を規制することで、ワーク・ライフ・バランスが改善し、労働参加率の向上につながるとされている。こうした制約が厳しくなる中、提供するサービスの質を落とさないようにするためには、適切な人員配置が求められる。個人のスキルや労働条件などが異なる中で、勤務日数や勤務時間のばらつきを無くし、個々の希望を満たす人員配置を実現するには、さまざまな制約が必要となる。また、欠員が発生した場合にも同等の質を提

供するには、その日の勤務内容を変更する必要がある。しかし、これらすべてを満たす人員配置を人力で限られた時間内に作成することは難しい。パート・アルバイトが主力となる各サービス業の責任者は、シフトの作成時間が労働時間の大きなウェイトを占めている。少人数で接客の質を落とさずに対応するには、個人のスキルレベルを考慮したスケジュールを作成する必要がある。また、パート・アルバイトが主力である職場では、働く人各々に勤務可能時間や勤務可能日などの制約があるため、すべての制約を満たすスケジューリングを手作業で短時間に作成することが難しい。勤務スケジュール作成に関する問題には、古くから研究されているナース・スケジューリング問題がある。池上敦子(2018)は、ナース・スケジューリング問題の目的が「看護の質を守ること」だと述べている。ナース・スケジューリングができることは、シフトに適切な人数、構成のナースを揃えるためのシフト制約条件を守り、ナースの勤務負荷が適切かを見るナース制約条件により最良の看護の質を提供できるようにすることである。

ナース制約条件をすべて守った下で、できる限りシフト制約条件を満たすような最適化モデルを構築し、最適化汎用ソルバーを用いて厳密最適解を得る。ナース・スケジューリングは、2 交替制や 3 交替制といった限られたシフト (自由度のない時間帯) にナースを割り当てる問題であるが、シフト・スケジューリングは対象シフトが限られているのではなく、始まりの時間も終わりの時間も自由度がある「様々な可能シフトを作成しながら」のスケジューリングのことを指す。

**研究目的**

本論文では、実際の秋田県内のあるサービス業のシフト・スケジューリング問題について取り扱う。池上敦子 (2018) のナース・スケジューリングモデルを応用して、サービス業における店舗シフト・スケジューリングについて以下の i), ii) を目的としたモデルを作成し最適解を導出する。i) 与えられた勤務人数や勤務時間、営業時間についての制約条件を数式で構築し、与えられた条件下で制約条件を違反する度合いを最小化するモデルを作成する。作成した数理モデルは SIMPLE 言語を用いてプログラミングし、Numerical Optimizer による数値計算を行い最適解を導出する。ii) 与えられた上記の制約条件下で正社員と非正社員の勤務日数の最小化を目的とするモデルを作成する。作成したモデルは Numerical Optimizer を用いて最適解を導出し、Excel アドイン機能を利用して勤務表を Excel 表の形で出力する。

**シフト・スケジューリングモデルの提案**

**研究対象**

スタッフ人数が合計で 20 名としたパート・アルバイトが主力のサービス業を想定してシフト・スケジューリングモデルを作成する。

表 1: 制約条件のパラメータ

	職種	下限	上限
1 日の勤務人数	正社員	1 人	3 人
	非正社員	1 人	4 人
	パート・アルバイト	5 人	11 人
1 カ月の勤務日数	正社員	18 日	21 日
	非正社員	17 日	20 日
	パート・アルバイト	15 日	20 日
連続勤務日数	—	—	4 日
1 カ月の勤務時間	正社員	108 時間	126 時間
	非正社員	102 時間	120 時間
	パート・アルバイト	75 時間	100 時間
1 カ月の休みの時間	正社員	126 時間	168 時間
	非正社員	140 時間	182 時間
	パート・アルバイト	140 時間	210 時間

総人数 20 名を 3 つの職種の正社員 3 名、非正社員 4 名、パート・アルバイト 13 名に分類する。また、1 日のシフトを出勤か休みとして、1 カ月 (30 日) のシフトを作成する。1 日の営業時間は 8:00~22:00 までの 14 時間とする。それぞれの職種の人数は以下の通りである。

また、それぞれの職種における勤務人数、勤務日数、連続勤務日数、それぞれのシフトにおける勤務時間の上下限は以下の表 1 に示す。

**割当問題について**

本研究のモデルを構築する上で重要となる考え方として割当問題がある。この節では“割当問題とは何か”について、読者に分かり易く理解いただくためここでは敢えて Numerical Optimizer V22 チュートリアルからの例題を引用する形で紹介することにする。

=====

(Numerical Optimizer V22 チュートリアルからの引用による割当問題の紹介) :

割当問題とは、集合 A の要素を集合 B の要素のどれに割り当てるかを決定する問題です。

(例)  $A = \{a_1, a_2, a_3, a_4\}$ ,  $B = \{b_1, b_2, b_3, b_4\}$

$$a_1 \rightarrow b_1, \quad a_2 \rightarrow b_4, \quad a_3 \rightarrow b_2, \quad a_4 \rightarrow b_3$$

また、割当問題はマス目を埋める問題に置き換えることができます。

表 2: 割当問題のマス目を埋める問題への変換

	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$
$b_1$	○			
$b_2$			○	
$b_3$				○
$b_4$		○		

例題 : 4 × 4 のマス目があります。このマスに石を置きたいのですが、全ての縦横に関して石の数が 2 つになるように配置します。さてどのように置けば良いでしょうか。

	1	2	3	4
1	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	$x_{14}$
2	$x_{21}$	$x_{22}$	$x_{23}$	$x_{24}$
3	$x_{31}$	$x_{32}$	$x_{33}$	$x_{34}$
4	$x_{41}$	$x_{42}$	$x_{43}$	$x_{44}$

(解) この問題を定式化するためには、0-1 変数を用いる必要があります。この問題の場合、上図の各マスに対して 0-1 変数を対応させます。

変数： $x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, \dots, x_{44} \in \{0, 1\}$

目的関数：なし

制約条件：

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} = 2$$

(1行目を横に見たときに石を2つ置く)

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} = 2$$

$$x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} = 2$$

$$x_{41} + x_{42} + x_{43} + x_{44} = 2$$

$$x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} = 2$$

(1列目を横に見たときに石を2つ置く)

$$x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} = 2$$

$$x_{13} + x_{23} + x_{33} + x_{43} = 2$$

$$x_{14} + x_{24} + x_{34} + x_{44} = 2$$

このモデルを Numerical Optimizer で実行すると、最後に以下の表示がされ、この例題の答を確認できます。

0	1	0	1
0	0	1	1
1	1	0	0
1	0	1	0

どの縦横にも二箇所ずつ石が置いてある (1 と表示されている) のがわかります。(割当問題の引用紹介ここまで)

=====

#### 制約違反最小化モデルの定式化

本論文はナーススケジューリングモデル (池上敦子, 2018) を応用し、実際のサービス業における店舗シフト・スケジューリングモデルを作成する。

数理モデルを作成するために、以下の変数とパラメータを定義する。

- $M = \{1, 2, \dots, 20\}$ : スタッフの集合
- $N = \{1, 2, \dots, 30\}$ : スケジューリング対象日の集合
- $P = \{0, 1\}$ : シフトの集合。  $p \in P$  でシフトを表し、  $p = 1$  のとき勤務する、  $p = 0$  のとき勤務しない、とする。
- $R = \{r_1, r_2, r_3\}$ : 職種の集合を表し、  $r_1$  は正社員、  $r_2$  は非正社員、  $r_3$  でパート・アルバイトを表す。
- $a_{rjp} (r \in R, j \in N, p \in P)$ :  $j$  日の職種  $r$  のスタッフが勤務する人数の下限値
- $b_{rjp} (r \in R, j \in N, p \in P)$ :  $j$  日の職種  $r$  のスタッフが勤務する人数の上限値
- $c_{ip} (i \in M, p \in P)$ : スタッフ  $i$  のシフト  $p$  の下限値
- $d_{ip} (i \in M, p \in P)$ : スタッフ  $i$  のシフト  $p$  の上限値
- $f_p (p \in P)$ : 同一シフトの連続日数の上限値
- $\alpha_{rjp}^- (r \in R, j \in J, p \in P)$ :  $j$  日における職種  $r$  のシフト  $p$  のスタッフの勤務人数の不足数
- $\alpha_{rjp}^+ (r \in R, j \in J, p \in P)$ :  $j$  日における職種  $r$  のシフト  $p$  のスタッフの勤務人数の過剰数

- $x_{ijp} (i \in M, j \in J, p \in P)$ : スタッフ  $i$  が  $j$  日に勤務するとき 1, そうでないとき 0 を取る意思決定変数

このとき、対象とするあるサービス業におけるシフト・スケジューリング数理モデルを、池上 (2018) を基に以下で作成する：

$$\begin{aligned} & \text{minimize} \quad \sum_{r \in R} \sum_{j \in N} \sum_{p \in P} (w_{rjp}^- \alpha_{rjp}^- + w_{rjp}^+ \alpha_{rjp}^+) \\ & \text{subject to} \quad \text{(i)} \quad a_{rjp} - \alpha_{rjp}^- \leq \sum_{i \in M} x_{ijp} \leq b_{rjp} + \alpha_{rjp}^+ \\ & \hspace{15em} r \in R, j \in J, p \in P \\ & \text{(ii)} \quad c_{ip} \leq \sum_{j \in N} x_{ijp} \leq d_{ip} \\ & \hspace{15em} i \in M, p \in P \\ & \text{(iii)} \quad \sum_{h=0} x_{i,j-h,p} \leq f_p, r \in R, j \in J, p \in P \\ & \text{(iv)} \quad \sum_{p \in P} x_{ijp} = 1, \quad i \in M, j \in J \\ & \text{(v)} \quad x_{ijp} \in \{0, 1\}, \quad r \in R, j \in J, p \in P \\ & \text{(vi)} \quad \alpha_{rjp}^-, \alpha_{rjp}^+ \geq 0, \quad r \in R, j \in J, p \in P \end{aligned}$$

目的関数はシフト制約条件を満たさない度合いの総和を最小化することで与えている。制約式 (i) は、 $j$  日の職種  $r$  のスタッフが勤務する人数の上下限界を守る制約を表している。制約式 (ii) は、スタッフ  $i$  のシフト  $p$  の上下限界を守る制約を表す。制約式 (iii) は、同一シフトの連続日数の上限値を守る制約を表している。

提案モデルに SIMPLE 言語でプログラミングし、表 1 のパラメータを入力して目的関数の最小化を実行し 30 日間のシフト・スケジューリングが作成された。作成されたシフト・スケジュールの一部を抜粋として表 3 として示す。縦がスタッフの番号を表し、横がスケジューリング対象日を表している。また 1 は勤務することを、0 は勤務しないことを表す。

表 3: シフト・スケジューリング表の出力結果 (一部)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0
2	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1
3	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1
4	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0
5	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
6	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0
7	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
8	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1
9	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1
10	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1



1. 日にちの集合：シフト作成の日数を31日で設定する。「subDay」は、連続勤務日数制約の式を立てるため、便宜的に定義したものである。
2. 店員の集合：正社員の集合(s1), 非正社員の集合(s2), パート・アルバイトの集合(s3)は、店員の集合(S)の部分集合という形で定義する。
3. 集合H:「目的関数」の計算のため便宜的に定義している。
4. 集合Z:「連続勤務日数制約」の計算のため便宜的に定義している。
5. 変数：取りうる値は1,0とする。勤務するとき1, そうでないとき0をとることを表す。
6. 目的関数：正社員と非正社員の勤務日数の最小化とする。
7. 1日の勤務人数制約：表1の数値のとおりである。なお、このモデルでは目的関数を勤務日数の最小化としているので、上限の制約は外している。
8. 連続勤務日数制約：数理モデル(iii)と同等の意味を表す。
9. 各人の勤務日禁止制約：これは、各スタッフが「勤務可能でない日」を自由に設定できることを表している。「x[”, ”]」で「日にち」と「スタッフ」を指定する。例として「正社員1が3日目に勤務できない」「非正社員2が4日目に勤務できない」「パート・アルバイト1が10日目に勤務できない」を入力している。必要に応じて適宜入力可能である。
10. 一か月の勤務日数制約：表1の数値で設定している。

```

1 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 0 1 1 1 1 0 1 0 0 1 0
0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 1 0 1 0 0 0
0 1 1 0 1 1 1 1 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 1 0
1 1 0 0 0 1 1 1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 1
0 0 1 0 1 0 0 1 0 1 1 1 1 0 0 1 0 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1
1 0 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 0 1 0 1 1 1 0
1 1 1 0 0 1 1 1 0 1 0 1 0 1 0 0 0 0 0 1 1 1 0
1 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 0 0 1 1
0 1 0 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 1 0 0
1 0 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 1 0 0 0 0 1 0 1
1 1 1 1 0 1 1 1 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 0
    
```

計算環境は制約違反最小化モデルの実装と同じ環境で行った。結果の出力時間は0.15秒であるこの結果より、このモデルと同規模の問題は実用上全く問題なくシフト・スケジューリングが作成可能であることがわかる。

次に上記で得られた0,1のシフト・スケジューリング表をExcelに出力する。出力にはNumerical Optimizer Excelアドイン機能を用いる。詳しくは参考文献 Numerical Optimizer V22 Excel アドインマニュアルを参照。まず以下の図1のような勤務表をExcelで作成する。

前節で作成したプログラムをNumerical Optimizerで実装した結果は以下の通りである。縦がスケジューリング対象日、横がスタッフを表す。

[Result]

```

1 0 1 0 1 1 1 1 0 0 0 1 0 1 1 1 1 0 0 1 0 1
0 0 1 1 1 1 1 1 0 1 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 1 1 1
0 1 0 1 1 1 0 0 1 0 0 1 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0
1 1 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 1 1 0 1 1 1 0 0 0
0 0 1 1 0 0 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 0 0
1 0 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0
1 1 0 1 0 1 1 0 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 0 1 0
1 0 1 0 0 1 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 1 1 1 0 1
0 1 1 1 1 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 1 1 1 0 1 0 1
0 1 0 1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 1 0 1 1 0 0 1
0 1 0 1 0 0 0 0 1 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1
0 1 0 0 1 0 0 1 0 1 0 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0
1 0 0 0 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 1
1 1 1 1 0 0 0 1 1 0 0 1 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1
1 0 1 0 0 1 1 1 1 0 0 0 1 0 0 0 1 1 0 0 1
1 1 0 1 0 0 0 1 0 1 0 1 1 1 1 1 0 1 0 1 0
0 1 0 1 1 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0 0 0 1 0 1 0 1 0
    
```

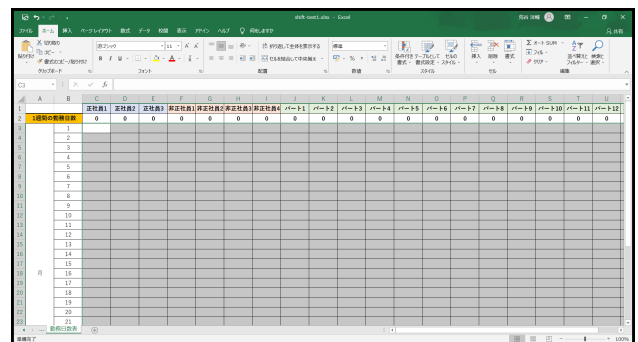


図1：勤務表（初期状態）

Numerical OptimizerでExcel連携を行うためのモデルツリーと勤務表を登録した表を図2として示す。

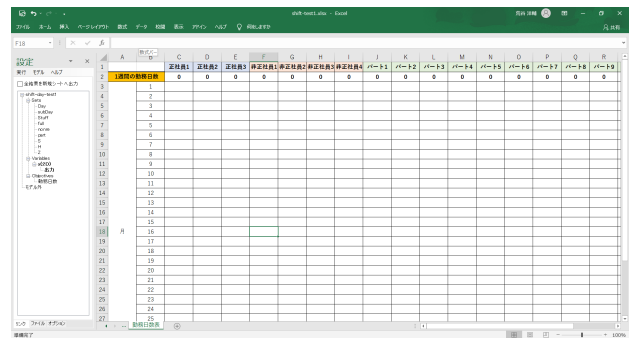
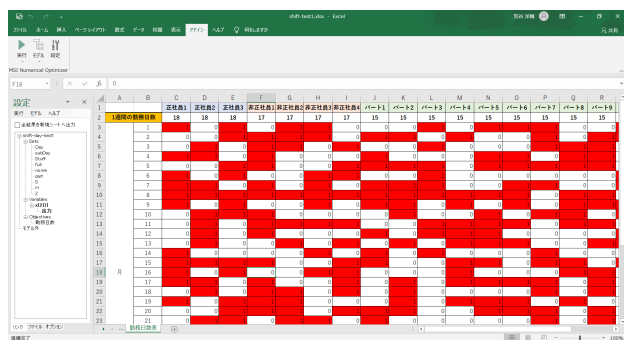


図2：モデルツリーと勤務表

実装して最適化計算を行った結果を図3に示す。

営システム工学科 卒業論文。



〔 令和 3 年 7 月 30 日受付  
令和 3 年 9 月 1 日受理 〕

図3：勤務表（計算結果を出力したもの）

なお、この表では計算結果を見やすくするため、「1」を赤色で表示させている。

### おわりに

本論文では、i) 制約違反最小化モデル、ii) 勤務時間最小化モデル、の2つのモデルの定式化を提案し、実際のサービス業におけるデータを用いたシフト・スケジューリング表の作成を行った。

i) のモデルでは制約条件を数式で定式化し、与えられた条件下で制約を守るシフト・スケジューリング表が作成可能か判別することが示された。ii) のモデルでは職種の違いによる勤務可能日の制約を入れたシフト・スケジューリング表を作成し、Excel の表として出力することができた。

また、i), ii) の2つのモデルともシフト・スケジューリング表の出力にはそれぞれ0.66秒、0.15秒しかかからず、手作業で作成することに比べて格段に勤務表作成担当者の作業負担が実現できることが示された。現在の社会では急なシフト変更も考えられ、このような場合にも勤務時間最小化モデルによるシフト・スケジューリング表の作成は対応可能であることが示された。

今後の課題としては、i) 制約違反最小化モデルについては、制約違反が明らかになった場合の最小スタッフ数を導出するモデルへの対応、ii) 勤務時間最小化モデルにおいては新たな目的関数によるモデルの作成や、スタッフの急なシフト変更にも柔軟に対応できるExcelアドインを利用したシフト・スケジュール表の管理、などが挙げられる。

### 参考文献

池上敦子 (2018).『ナース・スケジューリング—問題把握とモデリング—』. 近代科学社.

Numerical Optimizer V22 マニュアル

[https://www.msi.co.jp/nuopt/download/manual/module/manual\\_NumericalOptimizer\\_V22.zip](https://www.msi.co.jp/nuopt/download/manual/module/manual_NumericalOptimizer_V22.zip).

松岡菜生 (2021).「サービス業におけるシフトスケジューリング問題」秋田県立大学システム科学技術学部経

## On Shift Scheduling Models in Service Industry Creation of Scheduling Table using MS Excel Add-in Function

Yousuke Araya<sup>1</sup>, Mao Matsuoka<sup>2</sup>, Yutaka Kimura<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> *Department of Management Science and Engineering, Faculty of Systems Science and Technology, Akita Prefectural University*

Managers in the service industry claim that preparing shift tables consumes majority of their work time. However, because each worker has restrictions, such as working hours and days, manually creating a timetable that meets all restrictions in a short time is challenging. In this research, we address difficulties in shift scheduling using the nurse scheduling model proposed by A.Ikegami (2018) to reduce the time required to generate shifts. We build a store shift scheduling model and find the optimal solution using actual data from the service industry in Akita Prefecture for the following.

- i) We use mathematical formulas to create conditions, such as given working and business hours. Furthermore, we provide a mathematical model that minimizes the degree of constraint violation under specified conditions using these methods. The mathematical model is written in the SIMPLE programming language, and the Numerical Optimizer performs numerical calculations to find the optimal solution.
- ii) Develop a model that minimizes the number of working days for regular and nonregular employees while adhering to the given constraints. The mathematical model is likewise written in the SIMPLE programming language, and the Numerical Optimizer performs numerical calculations to arrive at the optimal solution. Furthermore, using the Excel add-in function, the work schedule is output as an Excel table.

**Keywords:** Shift scheduling, Optimization theory, Mathematical model, Numerical Optimizer