

本棚に本を見栄え良く配置する

NECソリューションイノベータ株式会社

橋本 慎司 ・ 柴田 将

高原 玲央 ・ 森 英憲

今井 春奈



Orchestrating a brighter world

NECは、安全・安心・公平・効率という
社会価値を創造し、
誰もが人間性を十分に発揮できる
持続可能な社会の実現を目指します。

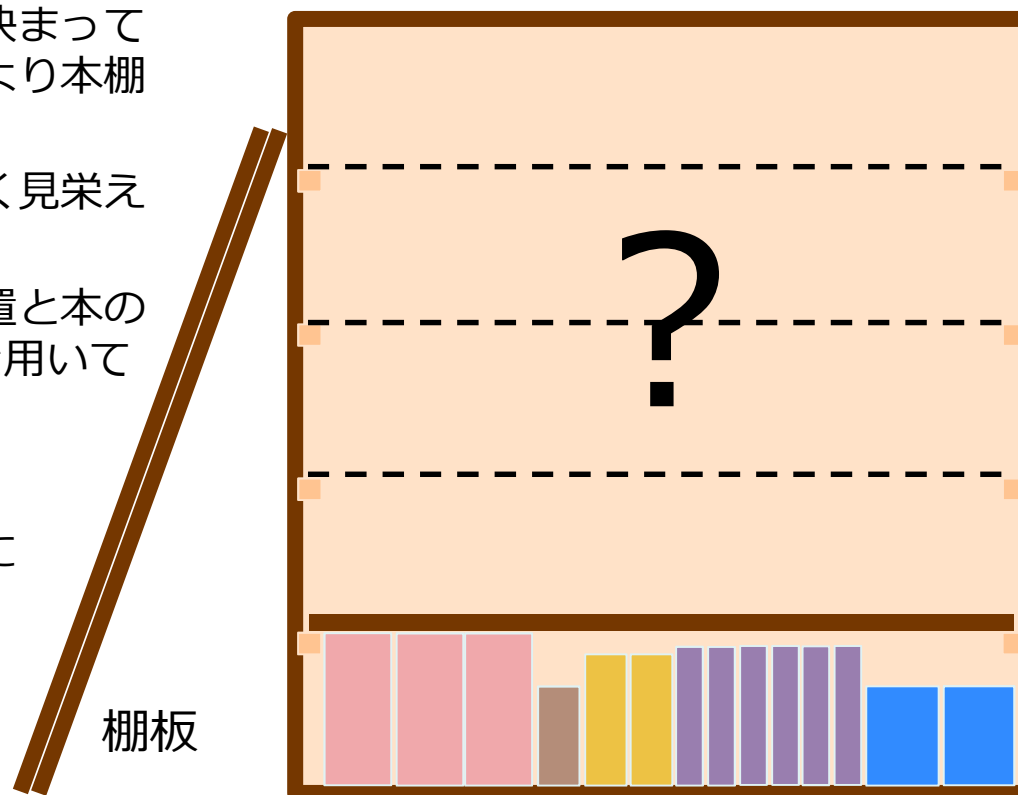
取り上げた問題

概要

- 設置可能な棚板の位置と棚板の数が決まっている本棚があり、その本棚に対してより本棚に格納すべき本を多く収納したい。
- また多くの本を収納しつつ、なるべく見栄えが良くなるように収納したい。
- 多くの本を収納するための棚板の配置と本の配置の最適な組み合わせをAmplifyを用いて解いてみる。

前提条件

- 本を横に倒し、本と棚板のスペースに収納することは考えない。
- 棚板自体の太さ、耐えられる重さは考慮しない。



前提条件と設定したデータ

データ

- 本棚
 - ・サイズ（横幅、高さ）
 - ・棚板の数と設置できる位置
- 本
 - ・タイトル
 - ・シリーズ
 - ・ジャンル（新書、単行本など）
 - ・著者名
 - ・サイズ（厚さ、高さ）
 - ・使用する頻度

目的関数の考え方

- **格納すべき本を多く収納する**を表現するため、本ごとに使用頻度を設けて、使用頻度に見栄えの要素を加点した総合点数で良し悪しを判断する。
- 見栄えと優先順位
 1. シリーズ本は並べて収納
 2. ジャンルは並べて収納
 3. 高さは並べて収納
 4. 著者名は並べて収納（今回は使用せず）

解法案

解法 1

- 1 回のアニーリングで本の配置と棚板の設置位置をまとめて決定する。
- 各棚板に本を収納する「枠」を用意して、その枠に本を当てはめるか否かの組み合わせとして解く。

解法 2

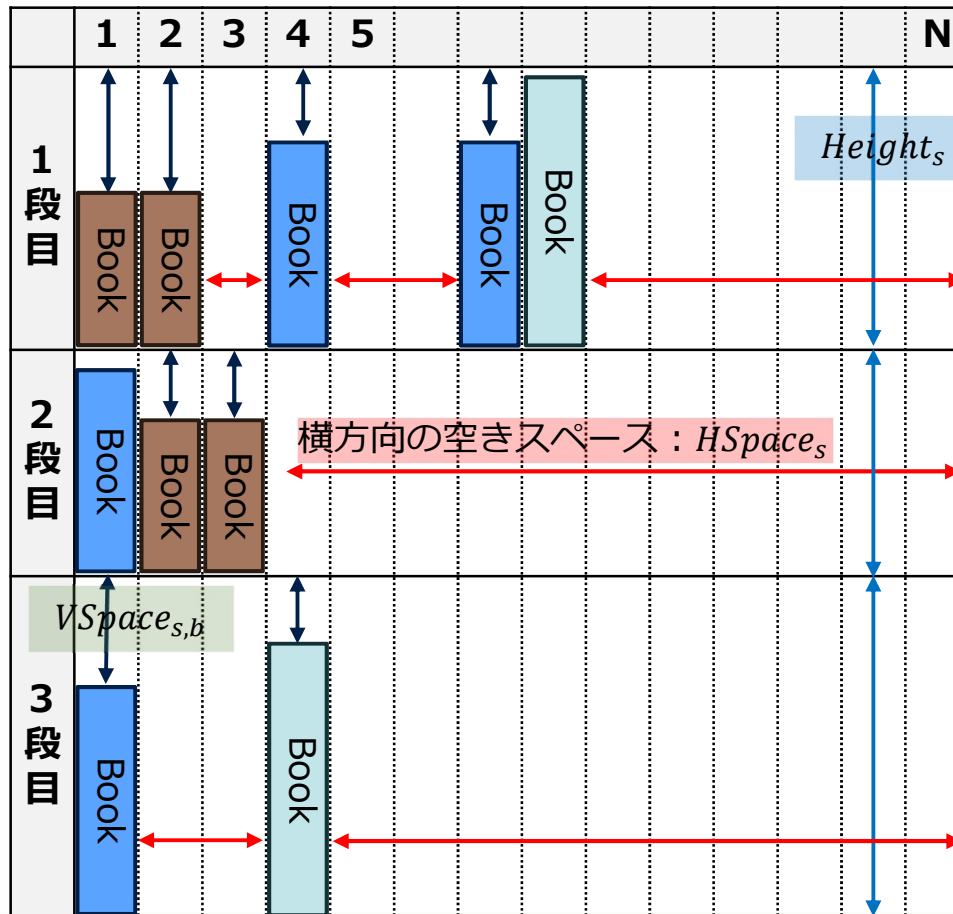
- 問題を分割して解く。
- まず、本棚の高さと幅に収まるように本を振り分ける部分をAmplifyで求解する。
- 求解した後、各棚板に振り分けた本を、単純なソート処理によって、ペナルティが少なくなるように配置位置を決定する。

解法 1 の定式化

スピンの定義

- $x_{b,s,m}$: 本 (b) は、上から s 段目の左から m 番目に配置するか否かを表す変数
※ m は、対象となる本の厚さから、一番多く本を配置できる場合の数とする。
- $y_{s,n}$: 本を配置する際に、各段の高さの合計が高さを超えないようにするための格段の高さを表す変数
- $S1_{s,n}$: 本を配置する際に、横幅を超えないようにするスラック変数
- $S2_{s,n}$: 各段に格納される本が、各段の高さを超えないようにするスラック変数

(補足) 解法 1 のスピンの考え方



スピン定義

$x_{b,s,i}$: 本 b を s 段目の i 番目に配置

$y_{s,i}$: 各段の高さを表す

$S1_{s,i}$: 各段の空きスペースを表す

$S2_{s,i}$: 各本と棚板の間の空きスペースを表す

$$Height_s = \sum_i 2^i y_{s,i}$$

$$HSpace_s = \sum_i 2^i S1_{s,i}$$

$$VSpace_{s,b} = \sum_{i \in I_b} 2^i S2_{s,i}$$

解法 1 の定式化

目的関数

- 本棚に詰める本を最適化。

$$Obj1 = \sum_b \sum_s \sum_m x_{b,s,m}$$

- ただし、見栄えも考慮する

$$Obj2 = \sum_{b1,b2} \sum_s \sum_m x_{b1,s,m} \times x_{b2,s+1,m} \quad (b1, b2 \text{ は同じジャンル})$$

$$Obj3 = \sum_s \sum_m \left(\sum_b x_{b,s,m} \times BookHeight_b - \sum_b x_{b,s,m+1} \times BookHeight_b \right)^2$$

$$\text{目的関数} = -(Obj1 + Obj2 + Obj3)$$

解法 1 の定式化

制約条件

- 条件式 1 : 本はどこか 1 か所に配置されるか、どこにも配置されない。

$$H_1 = \sum_{b \in Books} \left\{ \left(\sum_{s \in Shelves} \sum_n x_{b,s,m} - 0.5 \right)^2 - 0.25 \right\}$$

- 条件式 2 : ある位置には本は 1 冊配置されるか、何も配置されない。

$$H_2 = \sum_{s \in Shelves} \sum_n \left\{ \left(\sum_{b \in Books} x_{b,s,m} - 0.5 \right)^2 - 0.25 \right\}$$

- 条件式 3 : 棚の幅以上の本が収納されない。

$$H_3 = \sum_{s \in Shelves} \left(ShelfWidth - \sum_m x_{b,s,m} * BookWidth_b - S1_{s,n} \right)^2$$

解法 1 の定式化

制約条件

- 条件式 4 : 各段の高さの合計は棚の高さに一致する。

$$H_4 = \left(ShelfHeight - \sum_s y_{s,n} \right)^2$$

- 条件式 5 : 各段に格納される本は、それぞれの段の高さを超えない。

$$H_5 = \sum_{b \in Books} \sum_{s \in Shelves} \left(\sum_m x_{b,s,m} * (y_{s,n} - BookHeight_b - S2_{s,n}) \right)^2$$

解法 1 の課題

■ 解法 1 で定式化したところ、変数の数が非常に大きくなることにより適切な解をうまく求めることができない問題が発生。

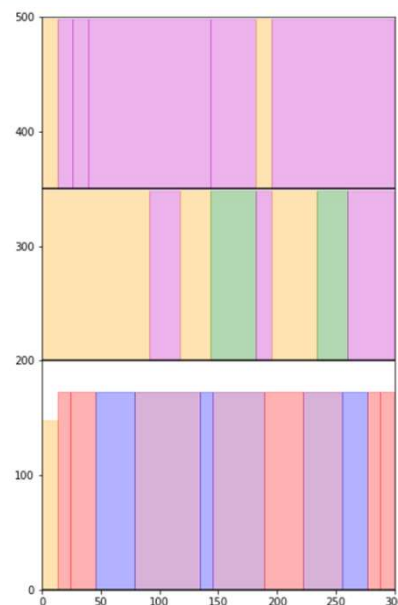
今回、以下の対処方針として解法 1 を簡略化して解を求めることとした。

詳細	対処方針
変数 x は、本の数×棚の数×配置枠だけ必要であり、規模が大きくなってしまう。	シリーズ本は同じ（隣り合う）位置に配置するのが最優先であるため、シリーズ本は1つの大きな本としてとらえて配置を考える。 （本に関する変数を削減）
条件式5は3次式となり、2次式にするためのラック変数が必要となる。	棚の数を複雑なものとはせず、かつ棚の配置パターンを固定して解くこととし、棚の全組み合わせでコストを比較することとする。

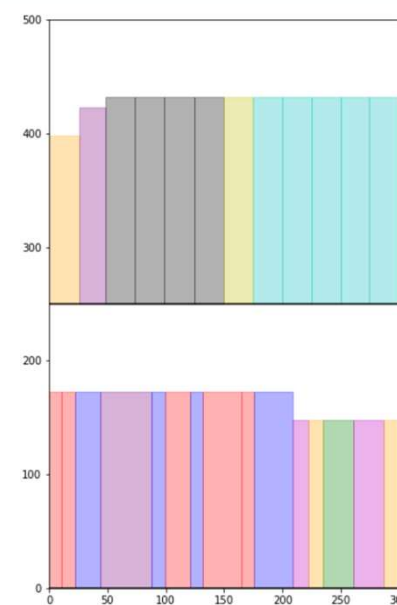
解法 1 の結果

■ 使用した棚データ

- 棚の高さ : 500mm
- 棚の幅 : 300mm
- 棚の配置パターン (棚板の高さを固定)
 - ・パターン 1 : 150mm/150mm/200mm
 - ・パターン 2 : 250mm/250mm
- 収納対象の本の数 : 200



パターン 1



パターン 2

■ 今回用意したデータを解法 1 で求解した場合は、パターン 1 の棚の配置パターンでより適した本の配置を求めることができた。

■ 但し、棚の配置を固定しており、結果は必ずしも良いものとは言えず。

解法 2 の定式化

■ スピンの定義（分割 1 : 各棚に本を振り分ける）

- $x_{b,s}$: 上から s 段目の棚に本 (b) を収納する。
- $y_{s,i}$: 横方向 の空きスペースを表すための変数
- $z_{s,i}$: 段 s の高さを表す変数
- $zz_{s,i}$ 棚の各本の上の空きスペースのサイズを表す変数

解法 2 の定式化

目的関数

- 使用頻度の大きい本を優先的に配置する

$$S1 = \sum_b \sum_s \sum_m freq(b) \times x_{b,s,m}$$

- 同じジャンルの本は同じ段に入れやすくする

$$S2 = \sum_{b1,b2} \sum_s \sum_m x_{b1,s} \times x_{b2,s}$$

$$\text{目的関数} = -(S1 + S2)$$

解法 2 の定式化

- 条件式 1 : 本はどこかの棚に配置されるか、どこにも配置されない。

$$H_1 = \sum_{b \in Books} \left\{ \left(\sum_{s \in Shelves} \sum_n x_{b,s} - 0.5 \right)^2 - 0.25 \right\}$$

- 条件式 2 : 棚の幅以上の本が収納されない。

$$H_2 = \sum_{s \in Shelves} \left(ShelfWidth - \sum_b (x_{s,b} \times BookWidth_b) - \sum_i y_{s,i} \times 2^i \right)^2$$

解法 2 の定式化

- 条件式 3 : 各段の高さの合計は棚の高さに一致する。

$$H_3 = \left(\sum_s \sum_i z_{s,i} \times 2^i - ShelfHeight \right)^2$$

- 条件式 4 : 各段に格納される本は、それぞれの段の高さを超えない。

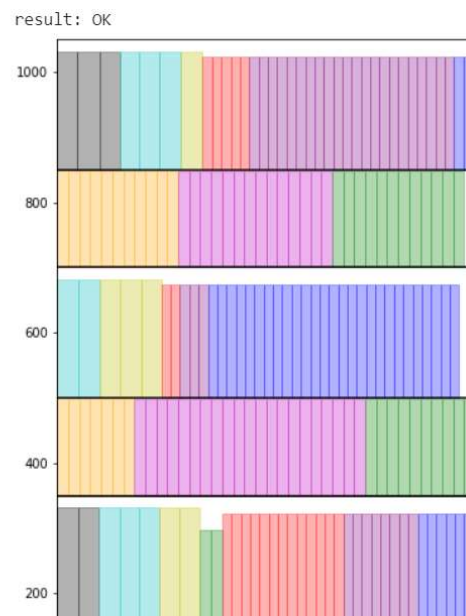
$$H_4 = \sum_{b \in Books} \sum_{s \in Shelves} x_{s,b} \times \left(\sum_i z_{s,i} \times 2^i - BookHeight(b) - \sum_i z_{s,i} \times 2^i \right)^2$$

- 目的関数と条件式 1 ~ 4 で各段に本を割り当てた後、ジャンル順、タイトル順にソートした結果を最終解とする。

解法 2 の結果

使用した棚データ

- 棚の高さ : 1050mm
- 棚の幅 : 500mm
- 棚の数 : 6
- 棚の高さの設定単位 : 50mm刻み
- 収納対象の本の数 : 500



一部単純ソートにより並べ替えを行っているものの、解法 1 に比べて棚の配置位置も求解できた。今回は対応できなかったが、割り当てた後も量子アニーリングにより求解できれば、見栄えの制約がより複雑になった場合にも、柔軟に対応ができるのではと考える。

\Orchestrating a brighter world

NEC