

## 見せる審査

福岡大学 丸田 五月 MARUTA Satsuki, 01701460 米田 清 YONEDA Kiyoshi,  
阿比留 正弘 ABIRU Masahiro, ランチェスター経営(株) 竹田 陽一 TAKEDA Yoichi

### 1. 目的

コンテストで出場者が順番に発表する。観客の投票にもとづき、その発表を相対評価したい。

**審査方式に関する要求:** (1) 観客や出場者に納得できる結果が出る。(2) 各発表が終わる度に現状の成績が実時間(数分以内)に出る。(3) 全ての発表が終わった後に、どんでん返しがあり得る。

(3) は以下のように実現する。観客を一般客と審査員に分ける。一般客の判断を(2)に用いる。全ての発表が終わった時点で、審査員の判断を一般客の判断に加味する。

本稿では以下、一般客の判断を計量する方法のみを扱う。

**一般客に関する前提:** (a) 入退場は自由。(b) 記憶は短期のみ有効で、相続く2つの発表のみを比較できる。(c) 評価は総合的で、評価項目を細分した分析的な評価は審査員に委ねる。

### 2. 方法

一般客には色分けしたナットを各色1つずつ、入場時に渡す。一般客は発表*i*+1が終る度に*i*と*i*+1の良いと思う方の投票箱に色*i*のナットを入れる。同じだけ良い場合は棄権する。

投票1      1 2  
投票2      2 3  
投票3      3 4

余ったナットは一般客の退場時に回収し、不在投票を防止する。ナットは数えずに重量を計るだけで投票が集計できる。

こうして得たデータを imputation [1] で補充し、対比較行列を作る。これから選好確率を推定する。この方法は欠測値のある場合に関する方法[2]の拡張になる。

### 3. データ構造モデル

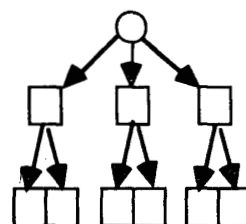
あるナットが投票に寄与する過程を考える。ナットはまず色、すなわちどの一対比較に関する投票に参加するかを選択する。この選択は独立に多項分布に従う。

その色のナットは、次いで、一対比較の対象発表2つのうちどちらに投票するかを選択する。この選択は独立に2項分布に従う。

1票の投票権=ナット

投票(*i*, *i*+1)=色*i*を選ぶ

発表*i*または*i*+1を選ぶ



### 4. 推定法

#### 4.1. 一対比較行列

$p := [p_1, \dots, p_m]$  を発表の良さを表すパラメータ,  $0 < p_i, \sum p_i = 1$  とする。

発表*i*と*i*+1を比較した結果、発表*i*が獲得した票数を $n_{ii}$ , 発表*i*+1が獲得した票数を $n_{i+1i}$ で表す。左の添字は測定の番号, 右の添字は発表の番号である。0を避けるために $N_{ik} := n_{ik} + 1$ とし、両発表のオッズ $r_{i+1i} := p_i / p_{i+1}$ を $\hat{r}_{i+1i} := N_{ii} / N_{i+1i}$ で推定する。

$\hat{r}_{ji} := 1 / \hat{r}_{ij}$  とする。データ構造の仮定から測定 $\hat{r}_{i+1i}$ と $\hat{r}_{k+1k}$ ,  $i \neq k$ , は互に独立とする。実際は審査員が長期記憶を持つから、これは強い条件である。また、

$$i < j \Rightarrow r_{i+1i} \cdots r_{j-1j} = \frac{p_i}{p_{i+1}} \cdots \frac{p_{j-1}}{p_j} = \frac{p_i}{p_j} = r_{ij}$$

であることから、

$$i < j \Rightarrow \hat{r}_{ij} = \hat{r}_{i+1i} \hat{r}_{i+1i+2} \cdots \hat{r}_{j-1j}$$

以上の imputation [1] によって一対比較行列 $[\hat{r}_{ij}]$ を得る。

## 4.2. 行列要素の重み付け

$p_i$ の推定量 $\hat{p}_i$ を、 $\hat{r}_{i,i+1} := \hat{p}_i / \hat{p}_{i+1}$ を仮定して求める。これができれば、発表が終了する毎に一对比較行列を拡大して同様の計算を行い、ただちに成績を更新して公表できる。

もしも一对比較行列 $R$ の各要素が同一精度で測定されているなら、 $\hat{p}_i$ は通常の対数線形モデル[3]やAHP[4]で求められる。しかるに一对比較行列は $(i, i \pm 1)$ 要素のみが直接の投票で得られたデータで、他の非対角要素は間接的に $\hat{r}_{ij}$ をいくつもかけあわせて得たものである。更に $(i, i \pm 1)$ 要素も、一般客の入退場によって一般に標本の大きさが変わるので精度が異なる。したがって各要素に適当な重みを付けて推定する必要がある。

データモデルからその重みを考えると、 $(i, i+1)$ 要素 $\hat{r}_{i,i+1}$ の重みは当該色に関する標本の相対的な大きさ

$v_{i,i+1} := (N_{ii} + N_{i,i+1}) / \sum_{k=1}^{m-1} (N_{kk} + N_{k,k+1})$ が自然である。一般の $(i, j)$ 要素 $\hat{r}_{ij}$ については、その要素に投票があったのは $(i, j-1)$ と $(i+1, j)$ の双方について投票があった場合であると解釈する。すると重みは $v_{ji} = v_{ij}$ と $v_{ij} = v_{i,j-1} v_{i+1,j}$ から決まる：

$$\begin{array}{ccc} (i, j-1) & \rightarrow & (i, j) \\ & & \uparrow \\ & & (i+1, j) \end{array}$$

正規化して $w_{ij} := v_{ij} / \sum_{k=1}^m v_{ik}$ 、 $\log \hat{p}_i \propto \sum_j w_{ij} \log \hat{r}_{ij}$ が $p_i$ の推定量を与える。

この結果は[2]の拡張になっている。

本方式では各発表の評価の精度は発表の順序に依存し、中央付近が高精度、端が低精度になる。

## 5. 検討と実験

実施に先立ってシミュレーションで事前評価した。先ず母数 $p$ をランダムに決める。多項分布でナットの色を決め、2項分布でその投票先を決めるというデータ構造に従って、データをランダムに生成

する。そのデータから $p$ を推定し、真の $p$ との差を見る。これを何度も行って推定精度を確認した。

実験は「ベンチャー起業論」という授業の一環として2000年の8月に「理系研究室紹介」と「対決：学生対社長」、12月に「ビジネスプランコンテスト」で行なった。発表が終る度に相対評価を更新して棒グラフで表示した。司会者の理解を得ればショーを盛上げる助けになる。

最大の困難は出場者に対する説明であった。最初は損だ、まんなか偏らず有利だ、情報があるだけ最後が有利だ、有力な発表の前後は不利だ、測定は独立でなかろう、等々、諸説を言い張る者がいて収集がつかない。発表順はくじで決めるのが無難である。

事後評価はbootstrappingによった。これにより、たとえば1位と2位の逆転確率が求まる。

## 6. 結論

観客が参加して競争の進行が見える、ショーとしてのコンテスト審査過程を提案、実施、評価した。その方式は(発表数-1)回の一对比較しか要求しない。一对比較行列が完全な場合との精度の差等、性質には不明な点が多く、運用法も課題である。将来、テレビ等を用いた不特定多数による審査に応用したい。

## 謝辞

上記「ベンチャー起業論」は福岡大学宗政(株)サニックス社長)学生ベンチャー支援基金の助成を受けている。ここに謝意を表する。

## 文献

- [1] M. A. Tanner, Tools for Statistical Inference, 2ed, Springer 1993.
- [2] C. Brugh, "Relative measurement and the power function", *European Journal of Operational Research*, 121, 627-640, 2000.
- [3] R. Christensen, Log-Linear Models, Springer 1990.
- [4] 木下栄蔵, AHPの理論と実際, 日科技連, 2000.