製造工場における作業改善のための統計モデルの研究

総合研究大学院大学 統計科学専攻 博士後期課程 泉 陽介

◆背景：ベルトコンベヤ式に流れる製造工程

▲良い製造工程：品質、コスト、納期、モチベーションの観点から
- 作業継続の疲れからくる作業遅れがないこと
- 各工程が均一な作業時間で作業すること
- 作業時間はなるべく短いこと

▲データ：改善前後２日間の作業時間をストップウォッチで測定

作業時間表（単位：h）

ロット数	ロット数	4	5	6	7	8
	開始時間 終了時間	9:00 10:30	10:30 12:00	13:00 14:30	14:30 16:00	16:00 17:30
4	工程A	1.20	1.23	1.18	1.22	1.28
3	工程B	1.35	1.37	1.31	1.38	1.42
2	工程C	1.37	1.38	1.31	1.35	1.40
1	工程D	1.25	1.26	1.22	1.24	1.27

工程: $i\,(=1,\ldots,I)$, 時限: $j\,(=1,\ldots,J)$, 改善前後: $t\,(=1,2)$

工程 i , 時限 j とロット k の関係: $k = j - i + I$

全ロットは $K = I + J - 1$

●作業時間のムラ：一定にはならない作業時間のバラつき

ムラの主要因；

ムダ：工程間の違いから、生じる手待ちや手待たせによる工程間のバラつく様子

ムリ：時限間の違いから、作業の継続による疲労が生じて作業能率が低下して作業時間が長くなる様子

習熟：ロット数が増えると、経験の浅い技術者が経験を積んで作業時間が短くなる様子（ロット数は作業の反復回数に比例）

◆目的: 工程、時限、反復を効果パラメタとした作業時間モデルを構築し、ムダ、ムリ、習熟の様子を明らかにする

◆ 改善前後の作業時間モデル

$$E(r_{ijt}) \equiv \eta_{ijt} = \beta^G + \sum_{t'=1}^{2}\left(\beta_{t'}^A + \beta_{it'}^M + \beta_{jt'}^P + \beta_{kt'}^R\right)\delta(t,t'), \quad \delta(t,t') = \begin{cases} 1 & (t = t'), \\ 0 & (t \neq t') \end{cases}$$

r_{ijt} ：作業時間表のi工程目、j時限目の作業時間データを示す

β^G ：総平均効果

β_t^A ：全体としての改善効果(Amelioration)

ただし $\beta_1^A = 0$ とし、他の効果は適当なゼロ和制約を満たすとする

β_{it}^M ：第i工程の工程効果(Manufacturing process)

β_{jt}^P ：第j時限の時限効果(Period)

β_{kt}^R ：第k反復効果(Repetition)

▲比較すべきモデル： 250種
- 改善前後での各効果の有無および動態の違いによる

●モデルの意味表記

▲例１：作業改善前後でともに効果は存在し、改善後の効果が有意に異なる場合は小文字、同等とみなせる場合は大文字

MPR-mRモデル： $\eta_{ijt} = \beta^G + \beta_{k1}^R + \beta_{i1}^M + \beta_{j1}^P + \beta_{i2}^M$

改善前後で工程(M)効果の動態が異なる
改善前後で反復(R)効果の動態は同じ
時限(P)効果は改善後には動態がほぼ無くなった

▲例２:改善後に改善効果が有意に無い場合と同等とみなせる場合

MPR-MPRモデル： $\eta_{ijt} = \beta^G + \beta_{i1}^M + \beta_{j1}^P + \beta_{k1}^R$

MPR-AMPRモデル： $\eta_{ijt} = \beta^G + \beta_{i1}^M + \beta_{j1}^P + \beta_{k1}^R + \beta_2^A$

◆識別問題とその克服法

問題：改善前後各々について、工程(M)効果・時限(P)効果・反復(R)効果をともに含むモデルは制約条件がないと一意決定できない

対策：効果パラメタに制約条件（効果パラメタの漸進的変化の条件）を付与させてベイズモデルを構築し、識別問題を克服する方法※1

●漸進的変化の条件：

$$\sum_{t=1}^{2}\frac{1}{\sigma_{Mt}^2}\sum_{i=1}^{I-1}(\beta_{it}^M - \beta_{i+1,t}^M)^2 + \sum_{t=1}^{2}\frac{1}{\sigma_{Pt}^2}\sum_{j=1}^{J-1}(\beta_{jt}^P - \beta_{j+1,t}^P)^2 + \sum_{t=1}^{2}\frac{1}{\sigma_{Rt}^2}\sum_{k=1}^{k-1}(\beta_{kt}^R - \beta_{k+1,t}^R)^2 \to \min$$

$\sigma_{Mt}^2, \sigma_{Pt}^2, \sigma_{Rt}^2\,(t=1,2)$ ：上式を正規分布の密度関数で表現したときの事前分布の超パラメタ

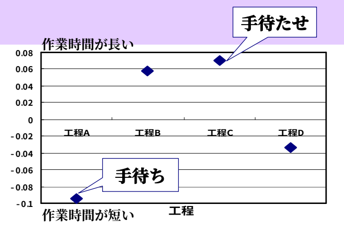
- 効果パラメタの漸進的変化の条件を事前分布とするベイズモデルを構築
- 赤池ベイズ型情報量規準(ABIC)最小化法により超パラメタを推定
- 事後尤度最大化法により効果パラメタを推定

※1：中村 隆（2005）．コウホート分析における交互作用効果モデル再考，統計数理，53(1)，103-132

◆結果

選択されたモデルは MP-Arモデル

ABIC=-101.7698 , β^G=1.2991

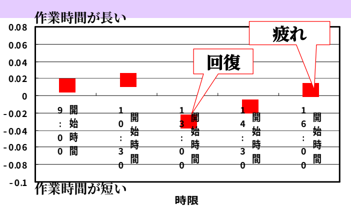


■改善前

HP値： σ_M^2 =8, σ_P^2 =1

◆工程

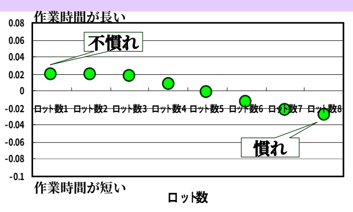
工程間で作業時間に差がある



■時限

午前：あまり捗っていない

午後：夕方になるにつれて段々と作業に時間が掛かる



■改善後

β^A=0.058 , HP値： σ_R^2 =1/2

●反復（ロット数に比例）

数4-6：徐々に作業時間が短縮

数7-8：作業時間がやや落ちつく