

| 内容 | 内容 |
|------------------------------|---------------------------------|
| 統計的な分析に必要な基礎知識 | 5-2. 効率のよい実験を行いたい |
| 統計的品質管理の重要性 | 直交配列表の種類と基本 |
| 統計的なデータ解析の基本的な知識(分布・期待値・分散) | 直交配列表の管理と活用方法 |
| 統計的品質管理手法の種類と目的 | 交互作用の意味(事例解説・演習) |
| 1. データを比較したい | 実験の問題点(事例解説) |
| 検定の基本的な考え方 | 効率よい設計・有効な検定の実用方法(事例解説・演習) |
| 計量値の検定(平均・分散 など) | 実験の使い方(電子開扉機ソフトウェア) |
| 計数値の検定(不良率・不良個数・欠陥数 など) | 6. 設計段階で効果的な実験設計を行いたい |
| 特殊な検定(異常値・正規性 など) | 品質工学の基本的な考え方(Noiseやパラメータの意味) |
| 測定サンプルサイズの考え方や求め方(ソフト演習) | 品質工学の種類と実験計画の違い |
| 実験の使い方(電子開扉機ソフトウェア) | SN比と感度の原理 |
| 2. データから全体を予測したい | 品質工学と実験計画のすみ分け(事例解説) |
| 推定の基本的な考え方 | 実験の使い方(電子開扉機ソフトウェア) |
| 推定(平均・分散・工程能力・MTBF 等) | 7. 効率よくかつ精密に実験を行いたい |
| サンプルサイズと推定幅の関係 | 最適探索法と応答曲面法 |
| 工程能力の区間推定とサンプルサイズの関係 | 直交表の種類と使い分け |
| 実験の使い方(電子開扉機ソフトウェア) | 1特性(結果が1種類)の応答曲面法 |
| 3. 原因と結果の関係を分析したい | 多特性(結果が複数)の応答曲面法 |
| 原因分析の基本的な考え方 | 実験の使い方(電子開扉機ソフトウェア) |
| 原因分析の種類と目的 | 8. 結果を減らしたい |
| 原因分析の前提 | 信頼性の基本的な考え方 |
| 様々な回帰係数の検定と推定(重回帰式・データの区間推定) | 信頼性を向上するための方法 |
| 単回帰分析における適正サンプルサイズの考え方 | 8-1. 寿命を予測する方法：信頼性データ解析(ワイブル分析) |
| 寿命を考慮した寿命設計での使い方 | ワイブル分析の特徴 |
| 実験の使い方(電子開扉機ソフトウェア) | 寿命予測方法 |
| 4. 結果に関連する多くの原因について分析したい | 高精度な寿命予測方法の考え方(清水の方法) |
| 結果に対する原因の数による分析の違い | 実験の使い方(電子開扉機ソフトウェア) |
| 量的結果と要因の分析：多変量解析・重回帰分析 | 8-2. 事前に信頼性を向上させたい |
| 量的結果と要因の分析：多変量解析 | FMEAの目的と有効性 |
| 質的な結果と要因の分析：多変量解析 判別分析 | FMEAの事例分析(ディスカッション) |
| OK/NGに分かれる原因分析(具体事例) | 8-3. 事後対策から信頼性を向上させたい |
| 実験の使い方(電子開扉機ソフトウェア) | F T Aの目的と有効性 |
| 5. よく似た結果のよい実験を行いたい | F T Aの事例分析(ディスカッション) |
| 実験設計の基本的な考え方 | |
| 実験の分析手法(分散分析) | |
| 5-1. 実験設計の基本：要因配置実験 | |
| 一元配置実験計画の事例解説 | |
| 二元配置実験の繰り返しありなしの問題点(事例解説) | |
| 多元配置実験 | |
| 実験の使い方(電子開扉機ソフトウェア) | |

表.2 統計的方法論座学内容(日本・海外共通)

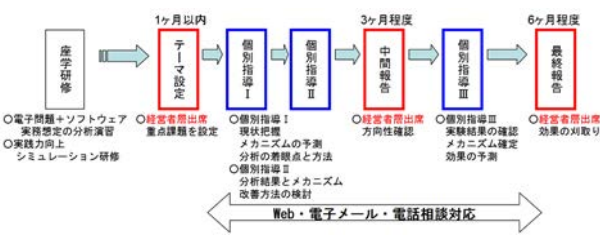


図.1 実務指導内容と実施期間

ここで、海外での SQC training を実施した際に記憶に残る 2 つの事例を紹介する。

事例 1：母分散に関する検定

事例 2：実験計画法の二元配置要因実験

[事例 1]

母分散検定を行う際の検定統計量を式 1 に示す。

$$\chi_0^2 = \frac{S}{\sigma_0^2} \quad \text{式 1}$$

この内容を、企業の中で従業員に教えている方々は、どのように解説しているのだろうか。

当方では、以下の解説を実施している。

解説例：

$$\chi^2 \text{ 分布の定義} \dots \chi^2 = \sum_{i=1}^n u_i^2 \quad u_i \sim N(0, 1^2)$$

$x_i \sim N(\mu, \sigma^2)$ これを標準化すると、

$$u_i = \frac{x_i - \mu}{\sigma}$$

ここで、 $n-1$ の自由度となる χ^2 分布を考える。

$$u = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma}$$

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \mu}{\sigma} - \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma} \right)^2$$

$$= \frac{1}{\sigma^2} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \frac{S}{\sigma^2}$$

$$\chi_0^2 = \frac{S}{\sigma^2} \times \frac{\sigma^2}{\sigma_0^2}$$

拡大/縮小

基準となる χ^2 分布

この後に、帰無仮説・対立仮説の関係を説明する。その際に、シンガポール・中国の従業員からは、『非常に面白い。わかりやすい。過去に説明を受けたことはあるが、統計量の式の説明だけで、【なぜそうなるのですか?】と質問をしたら、【このような式だから覚えておいて】とはぐらかされた。』という声が挙がった。

日本人にこのような話をすると、『彼らは何でも知りたがるから・・・』という返答をする人もいる。素直に考えると回答者も日本人の反応もおかしいことがわかる。海外の従業員は、単純に『なぜ、そのような式によって検定がなされるか』を聞きただけである。それに対して、『そういうものだから覚えておけばよい』という解説は回答になっていない。対応した人の能力が、彼らの要望に達していなかった反省すべき事例である。

[事例 2]

海外従業員の実験の状態を確認すると、次のような実施例があった。表.3 に示す。

| | 回転数 | | | | | | | | |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1100 | 1200 | 1300 |
| 圧力 | 5 | | | | | | | | |
| | 7 | | | △ | | | | | |
| | 9 | | | ○ | | △ | x | | |
| | 11 | x | | ○ | ○ | ○ | △ | | |
| | 13 | | △ | ○ | ○ | △ | ○ | | |
| | 15 | | | | ○ | ○ | | | |
| | 17 | | | x | △ | | △ | | |
| | 19 | | | | | | | | |
| | 21 | | | | | | | | |

表.3 実験の例

この実験は、日本から指示されて行ったものであった。ご理解頂けるように、要因配置実験の二元配置実験計画のように見えるが全く異なる。これでは論理的な分析は行えない。そこで実験計画を

海外の従業員,特に技術・スタッフに指導を行う。その際,個人的感想だが,次のように感じた。

インドネシア・中国：基本的な内容から解説が必要

シンガポール：個人差はあるが分散分析などの基本は理解している。

ドイツ：業務で活用している。

二元配置実験では,繰り返しありとなしの違いを認識する必要性から当方はその解説を行っている。企業によって,さまざまな考え方があると思うが,当社では繰り返しありを推奨している。

ご存知のように,繰り返しありとなしとではデータ構造が以下のように異なる。

要因 A,B の二元配置実験を事例に解説する。

【繰り返しなしのデータ構造】

$$\begin{aligned}x_{ij} &= \mu + a_i + b_j + ab_{ij} + e_{ij} \\ &= \mu + a_i + b_j + e'_{ij} \quad (e'_{ij} = ab_{ij} + e_{ij})\end{aligned}$$

【繰り返しありのデータ構造】

$$x_{ijk} = \mu + a_i + b_j + ab_{ij} + e_{ijk}$$

繰り返しを行わない場合,二因子交互作用の影響を分析することができない。

当社では,電子デバイス製造を行っているが,製品の製造・特性に,構成する材料やそれを加工する製造条件等について様々な交互作用の影響を考慮すべきものが多い。そのため,海外従業員に対しても,開発・技術者・技術スタッフには,交互作用の認識とそれを考慮した実験設計を日常的に活用できる training をさせておく必要がある。

また,これも企業によって,さまざまな考え方があると思うが,当方では実験水準の設定も非常に重要と考え,2水準実験は推奨していない。例えば,樹脂成型を事例にその理由を説明する。

熱を加えると軟化する樹脂を金型に入れて部品成型するとしよう。加工の温度が低ければ,樹脂は固く,成型できずに充填が不十分で不良になる。逆に加工温度が高すぎれば,バリや漏れの不良となる。つまり,低温から高温の範囲の中で成型に最も適した温度が存在する。図.2 にイメージを示す。

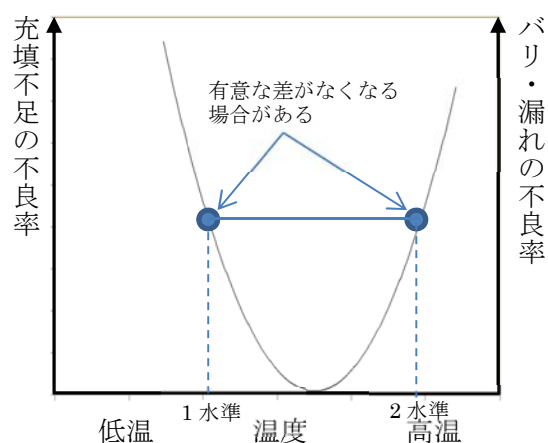


図.2 3水準以上の実験の必要性事例

このような場合,2水準での実験では,最適な条件を求めることが困難な場合が想像できる。

加えて,電子デバイスでは,複数の特性を同時に満足させなければならない製品が多い。そのため,多特性を同時に満足させ,高精度に条件が推定できる最適値探索法,中でも応答曲面法などが有効であり,活用できる training を実施する。その結果,多くの海外従業員が,条件の最適化などに活用している。

興味深いことは,日本より海外の従業員の方が実験計画法・応答曲面法・多変量解析など統計的方法論に強い興味を示すことである。

3. 海外人材育成で気になること

海外での SQC training を実施するにあたって,次に示す内容が耳に入ったことがある。

『海外の従業員は教育などを受けてスキルを身につけると他の会社に行ってしまう。』

また,他の企業の方からは次のような話を聞いたことがある。

『人材育成をしても1年もすれば,ほとんどの作業者が辞めてしまい,従業員が入れ替わる。』

私が担当している事業場へ伺うと,過去に指導した従業員が離職していた経験はある。しかし,『従業員がすべて入れ替わる』といった状況を過去も現在も私は経験したことがない。

過去の話になるが,シンガポールの現地人事部部长・課長にお願いをして,数年間の離職率を【年齢別】【職能別】で調査して頂き,分析を行ったこ

とがある。イメージを図.3 に示す。

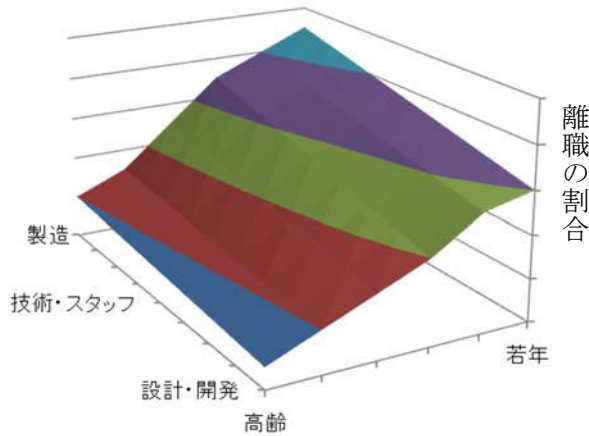


図.3 離職割合のイメージ

各企業においても分析はされていると思うし、その結果は異なると思う。また、図.3 はあくまでもイメージであることを了解して頂きたい。

離職は、職種と年齢によって傾向があることがわかった。また、同時期にインドネシアにおいても、離職理由について現地人事部門責任者に調査をお願いした分析した。ここでも、職種と年齢によって理由が異なることがわかった。

インドネシア・シンガポール共に、製造職の若年作業者の離職率が最も高く、離職の理由は給与と労働の負荷(楽か楽でないか)であった。一方、設計・開発、技術・スタッフの離職は、若年層が高いものの、ある程度の年数(30 歳程度)から、離職が低下する傾向にあった。

離職理由は、給与が挙がるものの、その他に、やりがい・責任・スキル向上といった【仕事を任されている】という点と、【自己成長】の項目が挙がっていた。

このことから、私が海外の人材育成に関わる際に、日本国内事業場と議論するのは、【対象の絞り込み】である。

論理的課題解決が行え、経営成果を創出できる従業員の育成を目的として日本側から高度な統計的方法論の講義・具体的活動の指導を支援対象とするのは【設計・開発・技術・スタッフ】の中堅社員(30 歳前後)が望ましいと考え、製造職の入社間もない若年層に対する教育は、上記研修で育

成した、現地スタッフによる教育が望ましいと考えた。図.4 に示す

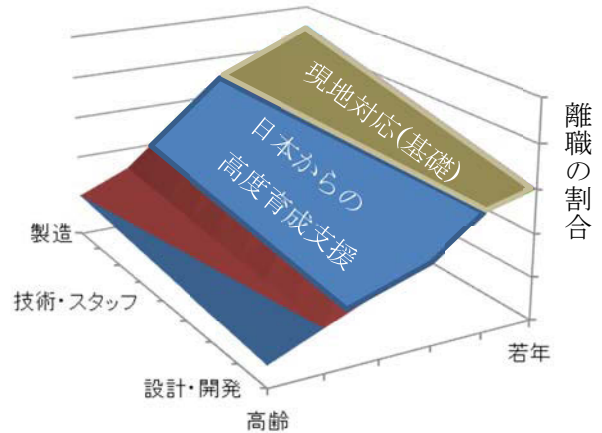


図.4 支援の役割イメージ

4. 海外従業員に感じること

海外従業員に対して統計的方法論の座学研修や実務指導を実施するにあたり、国によっての違いを感じる。その基盤になっているのは、各国の学校教育との関係を考慮する必要があると考えている。

橋本[2]は、日本と海外の統計学教育についての比較を報告している(2008.9 : 表.4)。

表.4 日本と海外の統計学教育の比較

| 年齢 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|----------|---|---|---|-------------|------------------|---------|-------------------------|--------|------|-------------|-----|
| アメリカ | | | | 線・棒グラフ | | | ヒストグラム/箱ひげ図 | 散布図 | | | |
| イギリス | | | | 線・棒グラフ | 数分布表/ヒストグラム/線グラフ | ドットプロット | 線グラフ | 散布図 | | | |
| ニュージーランド | | | | 線・棒グラフ/線グラフ | | | 数分布表/ヒストグラム/箱ひげ図/累積棒グラフ | 散布図 | | | |
| シンガポール | | | | 線グラフ | 線グラフ | 線グラフ | 円グラフ | ヒストグラム | 線グラフ | 箱ひげ図/累積棒グラフ | |
| 中国 | | | | 線グラフ | 線グラフ | 線グラフ | 円グラフ | ヒストグラム | | | |
| 韓国 | | | | 表/グラフ | 線グラフ | 線グラフ | 線グラフ | ヒストグラム | | | 散布図 |
| 日本 | | | | 線グラフ | 線グラフ | 円グラフ | | | | | |

| 年齢 | 5-7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|----------|-----|---------------------|-------|----|-----------------|----|-------------------------|---------|-------|
| アメリカ | 最大値 | 平均/メディアン/モード/範囲/外れ値 | | | 平均/四分位範囲/関係/近似値 | | 相関係数/回帰線 | | |
| イギリス | | 範囲/モード | | | 平均/メディアン | | 相関/回帰 | | |
| ニュージーランド | | | | | 数系列 | | 範囲/平均/メディアン | | |
| シンガポール | | | | | | | 平均/メディアン/モード/標準偏差/四分位範囲 | | |
| 中国 | | 平均 | メディアン | | | | 母集団と標本 | 分散/標準偏差 | 四分位範囲 |
| 韓国 | | 平均 | | | | | | 相関係数 | 標準偏差 |
| 日本 | | | | | 平均 | | | | |

また、竹内[3]は、自らの経営体験に基づいて ASEAN 地域を主とした従業員比較を報告している(2014.9 : 表.5)。

共通していることは、日本と比べると海外の方が統計的方法論に関する学習・知識が充実しているということである(あくまでも 2008 年での比較、2012 年の学習指導要領改訂に伴い統計学に関する教育内容は大幅に改善されている.)。

実際に ASEAN 地域の従業員に対する座学・指導を行うと、シンガポールの技術・開発者の場合、課題解決の議論の中で DOE・ANOVA・

Regressionなどの言葉が使われる。

表.5 海外従業員の比較

| | 日本 | 中国 | マレーシア | シンガポール | インドネシア |
|----------------|--|---|--|---|--|
| 集団・個人 | 集団主義 | 個人主義 (欧米に類似) | 集団主義 ただし、マレーシアと中国人 がMIX | 個人主義 (欧米に類似) | 集団主義 日本人とインドネシアは長く 似ている。 |
| Communication | 同様の呼称 | 日本人のメンタリティは理 解しない。私は私。 | 日本人のメンタリティは理 解しない。 | 日本人のメンタリティは理 解できる | 言葉は簡単、会話は同様の 部分が入っている。 |
| 自主性 率先性 | 自主的・率先的である。 ただし、苦いよもアプ ローチを重視する。 | 自主的自立ちたがる日本 人に勝らない。自分でやり たがる。 まずは苦えがほしい。 | 自主的に判断、責任を 取る国民性ではない。 まずは苦えがほしい。 | 自主的自立ちたがる。日 本人に勝らない。自分で やりたい。 まずは苦えがほしい。 | 自主的に判断、責任を取 る国民性ではない。 まずは苦えがほしい。 |
| 視覚・ Visual化 | 視覚的より、概念的な 面がある。言葉で表す。 Visual化はするの否乎 | 視覚的に理解していく。 強分 概念的、Visual化 能力はすばらしい | 視覚的に理解していく。 見えないものを想像して いるのは困難、Visual化 能力はすばらしい | 視覚的に理解していく。 強分 概念的、Visual化 能力はすばらしい | 視覚的に理解していく。 見えないものを想像して いるのは困難、Visual化能力 はすばらしい |
| 職務規定 | 不明確。ない。 | 明確に規定。一切 規定以外の工程には関 与しない。 | 明確に規定。ただし、臨 急の工程も適当にこなす 傾向 | 明確に規定。一切 規定以外の工程には関 与しない。 | 明確に規定。ただし、臨 急の工程も適当に対応 する傾向 |
| リーダーシップ | リーダーシップは発揮した がらない。 | リーダーシップを発揮した がらない。 | リーダーシップを発揮した がらない。 | リーダーシップを発揮した がらない。 | リーダーシップは発揮した がらない。持っている。 |
| 理屈・論理 | 理屈屋は嫌たられる | 理屈屋。 | 理屈屋。でも、日本人の 理屈はまずはやらなくて いい。 | 理屈屋 | 理屈屋。でも、日本人の 理屈はまずはやらなくて いい。 |
| 知識 | 暗黙知 + 形式知 | 形式知 + 暗黙知 | 形式知 + 暗黙知 | 形式知 + 暗黙知 | 形式知 + 暗黙知 |
| 改善活動 | 小集団活動型 | 個人競争型 職務規定に合わせた 活動 | 小集団活動型と個人 競争型が共存、職務 規定に合わせた活動 | 小集団活動型と個人 競争型が共存、職務 規定に合わせた活動 | 小集団活動型職務規 定に合わせた活動 |

中国・インドネシアでは、育成当初、シンガポールほどではなかったが、現在では多くの従業員が統計的方法論を学び、業務に活用している。

さらに、欧米の従業員の統計的方法論の知識・活用にはASEANと異なると感じている。

スロバキア・ドイツの現地責任者に対して、統計的方法論の具体的活用と経営成果[4]について話す機会があった。

ドイツの開発責任者・技術スタッフからは質問などが多く出され、興味を感じているように思われた。事実、ドイツからは、事業場で発生した開発課題に対して、講演後に支援要請があり再訪問と課題の相談対応を行った。スロバキアについては現時点で支援要請はないが、講演聴講者の職能と関係があると思われる。

ドイツへの再訪問では、長期寿命予測の高精度化についての相談があった。一般的に寿命予測はフィールドデータや加速試験などによって推定する方法が用いられる。加速試験などの結果をワイブル確率紙にプロットして実使用での寿命推定することが一般的に行われるが、予想以上に予測誤差が大きい。サンプルの数や水準の取り方にも大きく影響される。

ドイツの従業員も寿命予測方法は理解していた。しかし、お客様が要望している非常に小さな故障率に対する長期寿命を高精度に予測する知見を持ち合わせていなかった。

小さな故障率による寿命を高精度に予測するためには、数多くのサンプルが必要になる。但し、限度がある。例えば、10ppmの故障率の寿命を高精度に予測するために必要なサンプル数は如何ほどになるかを想像して頂きたい。また、先に述べたように、ワイブルによる分析は推定精度が低いという課題がある。この課題について、清水[5][6][7]はサンプル数の影響を受けにくい高精度な寿命予測方法を構築していたのでその解説を行った。その内容についてドイツの従業員は非常に興味を持ち、多くの質問と議論を行うことができた。

その後、ドイツ側から信頼性以外についても議論したいとの要望があり、実験設計についての相談が持ち込まれた。直交配列の原理や課題、応答曲面法などの実験配点やメリット・デメリットについて解説を行った。これについても非常に興味を示し議論が白熱した。

これらの経験から、今まで経験してきた南アジア・中国と欧州の従業員に対する座学研修や実務指導支援は同一のものでは不十分であることを認識した。

南アジア・中国では知識はあるものの、モノづくりの近代化が日本と比較して遅れていたことは事実である。そのため、日本からの基本的な指導支援についても有効性を感じ、受け入れてくれたと認識している。

一方、欧州では、近代工業製品のモノづくりの歴史は日本より早く、統計的方法論など論理的方法を活用してきた歴史も長いという自負がある。イメージを図.5に示す。

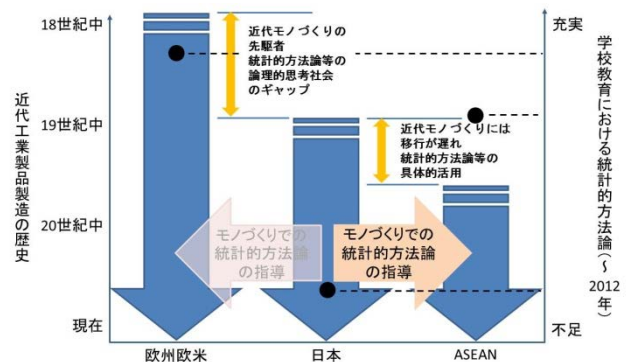


図.5 工業製品製造の歴史と学校教育

そのため、欧米では基礎統計からではなく、高度な統計的方法論を活用した課題解決法や実用で派生した応用統計に軸足を置いた育成・業務支援が必要と感じている。

ただし、欧州については表.1 の通り、経験は1年である。今後も実務の支援を通じて、欧州にふさわしい育成・業務支援のあり方を検討していきたい。

5. これからの海外 SQC training について

これからの海外従業員に対する SQC training について私の考えを最後に述べる。

私はこの発表に、【海外と区分する必要があるだろうか】という副題をつけた。今回、再認識したことは、統計的方法論の実用的活用における人材育成は、国・地域で区分するものではなく、業務目的と内容で変わるのではないかということである。勿論、対象者のレベルに応じて、どのレベルから指導するのかが異なるが、開発・技術者に重要と思われる内容と、製造者に重要と思われる内容は異なる。また、育成方法も異なると考えている。

更に、Big Data・IoT・AI など大量の情報を処理・分析・判断する仕組みが世界的に広がっている現在において、統計的方法論に対する正しい知識と活用の重要性は更に高くなると改めて認識した。

私は今回、自身の考えをまとめる上で、反省する点が多かった。海外従業員に対して統計的方法論の活用を指導するならば、今まで以上に自己研鑽し、統計的方法論の知識習得と実用的活用の蓄積・研究が必要だと認識した。つまり、統計的方法論の数学的知識は勿論、事業成果を生み出すための実用と展開のレベルを上げなければならない。ただ、統計的方法論で事業成果を生み出すためには、課題対象についての6ゲン(現場・現物・現実・現象・原理・原則)を正確かつ確実に実行できる能力が必須である。

6ゲンの正確かつ確実に実行できる能力には、固有の技術だけでなく、観察力、創造力、コミュニケーション能力、実行力、統率力などが含まれる。

支援側は継続的に統計的方法論の実用的なレ

ベル向上を行わなければ、支援はあり得ないということを再認識した。図.6 にイメージを示す。

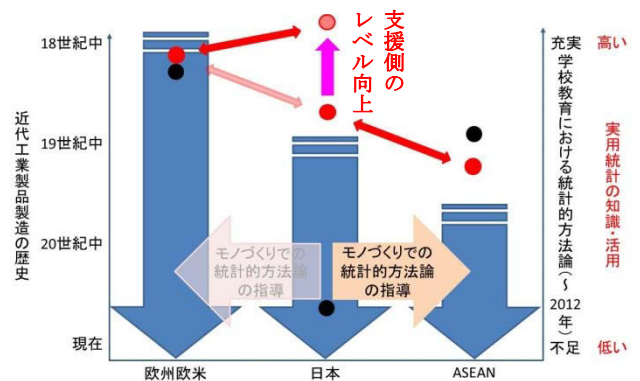


図.6 支援側に求められる実用統計の能力

現在、当方においては、社内で『教育・支援・指導する側の育成』を様々な切り口で行っているが、短期間(1~2年)での育成は困難で、また、最近では『経営成果につながるような論理的方法の教育・支援・指導』が誰にでも行えるものではないとの認識を持っている(短期育成困難な、ある種の資質(生い立ち・環境で、はぐくまれる性質要素)が必要なのではないか)。

今後、対象人員の発掘・指標化や効果的な育成方法の検討・開発に取り組んでいきたい。

参考文献

- [1]品質誌「品質」Vol.45, No.1, 2015 立林和夫 JSQC 賛助会員の調査結果と今後の方向性
- [2]第 88 回研究発表会(関西支部) 2008.9 橋本紀子 日本の学校における統計教育の実情とその国際的位置づけ
- [3]第 106 回研究発表会(関西支部)特別講演 2014.9 竹内英雄 “人づくり、型づくり” 海外における技術者育成
- [4]日本品質管理学会 クオリティフォーラム 2015 2015.11 清水貴宏 経営成果創出のための統計的方法論の活用と課題
- [5]第 91 回研究発表会(関西支部) 2009.9 清水貴宏 Weibull 分析を用いた信頼性寿命予測の課題提起
- [6]信頼性シンポジウム 信頼性データ解析研究会報告 2010.1 清水貴宏 Weibull 確率を用いた信頼性寿命予測への提案
- [7]第 94 回研究発表会(関西支部) 2010.9 清水貴宏 加速試験を用いた寿命予測の算出方法の提案

本著作物は原著作者の許可を得て、株式会社日本科学技術研修所（以下弊社）が掲載しています。本著作物の著作権については、制作した原著作者に帰属します。

原著作者および弊社の許可なく営利・非営利・イントラネットを問わず、本著作物の複製・転用・販売等を禁止します。

所属および役職等は、公開当時のものです。

■公開資料ページ

弊社ウェブページで各種資料をご覧ください <http://www.i-juse.co.jp/statistics/jirei/>

■お問い合わせ先

(株)日科技研 数理事業部 パッケージサポート係 <http://www.i-juse.co.jp/statistics/support/contact.html>