

業務遂行能力に着目した職業人教育の評価

山本雅基, 齋藤洋典
名古屋大学大学院情報科学研究科

社会人の技術者教育では、教育が受講者に与える教育効果を評価するための計測方法が必要とされている。本研究では、透明性の高い教育効果の計測方法を提案するために、社会人向けの技術者教育の受講者とその直属の上司を被験者とし、彼らに受講者の業務遂行能力の評価に関する3種類の調査を実施した。調査1に参加した第1群の課題は、業務遂行能力の評価項目を列挙することであり、調査2での第2群の課題は、調査1で抽出された評価項目の重要度を評定することであり、調査3での第3群の課題は、受講者の業務遂行能力を受講の1週間前と1週間後と4週間後に評価することであった。調査1では、業務遂行能力の評価項目として4種類12項目が選定され、調査2では、受講者と上司の間には評価項目の重要度の順序に差が無いことを確認した。調査3では、受講者がソフトウェア開発技術力の評価項目において、受講1週間後に高い値を示すが、上司は4週間後に受講者と同様の高い値を示すことを確認した。これらの結果は、受講者自身による自己評価では教育効果が、受講後1週間程度の早い時期に認められるのに対して、受講者の上司による他者評価においては、受講後4週間程度の遅い時期に認められることを示す。社会人向け技術教育の効果を計測するには、受講者とその上司による評価の現れ方に遅速があり、非同期特性をもつことを勘案し、教育の前後に各1回ずつの評価を実施することが有効と考えられる。

1. はじめに

我が国が組込みソフトウェア産業を継続して拡大させるためには、産業に従事する技術者の不足が解消されなければならない。2007年現在、我が国では、235,000人の組込みソフトウェア技術者が確認されているが、新製品に組込むソフトウェアを全て要求される時期までに開発するためには、なお99,000人が不足しており、この不足を解消するために各所で人材養成が行われている(経済産業省, 2007)。

組込みソフトウェア技術者教育は、組込みソフトウェア産業の従事者を増加させることだけでなく、技術者の同一職種内での技術レベルの向上と職種転換を目的として実施されている。教育受講への投資は、受講料の支払いに加え、教育期間内の売り上げ損失を考慮する必要があり、両者が受講を妨げる要因となる。教育受講を促すためには、教育への投資の適切性を判断することを目的とした教育効果の計測が社会的急務とされている(情報処理推進機構 IT スキル標準センター, 2007)。

職業人に対する教育の効果を計測するために、Kirkpatrick and Kirkpatrick は、教育効果の計測を4水準(Reaction, Learning, Behavior, Result)に分けて行うことを提案している(Kirkpatrick & Kirkpatrick, 2006)。Reaction 水準では、研修に参加した受講者の反応を評価し、Learning 水準では、受講者が学習して習得した内容を評価する。Behavior 水準では、実際の仕事の変化としてどの程度反映されたかを評価し、Result 水準では、実際の仕事を通じて会社の業績へどの程度寄与

したかを評価する。

職業人向けの組込みソフトウェア技術者教育では、Reaction 水準の評価が教育コースの改善を、Learning 水準の評価が社内教育の修了判定を目的として、既に企業研修などにおいて実施されている。他方、Behavior 水準の評価はほとんど実施されていないが(山本他, 2007b), 山本他(2007a)は、受講の1週間前と、1週間後と4週間後において、受講者と直属の上司により、受講者の能力を評価する研究を行っている。Result 水準の評価もほとんど実施されておらず、教育の費用対効果の計測には不明晰性が指摘されており、付加価値の計算式の改訂が待たれる。

本研究の主要な目的は、付加価値の源泉である業務遂行能力に着目した Behavior 水準の教育効果計測を複数の時期に実施し、社会人の組込みソフトウェア技術者教育で使用可能な教育の効果計測手法を提案することにある。

2. 調査対象

本研究では、名古屋大学で実施される社会人向けの組込みソフトウェア技術者教育(NEXCESS:Nagoya university EXtention Couces for Embedded Engineers)(山本他, 2006)の受講者と直属の上司が提供するデータを用いる。

NEXCESS は、14種類の教育コースを、3種類の職種と3種類の能力レベルに対応付けて提供する。3種類の職種は、ソフトウェアの生産実務を行うソフトウェアエンジニアと、専門技術を提供するドメインスペシャリストと、管理業務を行うプロジェクトマネージャである。3種類の能力レベルは、上

司の指示の下に業務を遂行するエントリレベルと、自らの判断で業務を遂行するミドルレベルと、部署や会社をリードするハイレベルに分けられる。

本研究では、ソフトウェアエンジニアのエントリレベル向けの「組み込みソフトウェア開発技術の基礎」コースと、ミドルレベル向けの「組み込みリアルタイム OS とネットワークの基礎 μITRON と TCP/IP」コースの受講者と直属の上司が提供するデータを対象とする。

前者の教育コースは、発光ダイオードを点滅するアプリケーションプログラムの開発演習などを通じて、組み込みプログラミング技術の習得を目的とする 4 日間のコースであり、後者の教育コースは、RTOS (Real Time Operating System) 上でネットワーク通信を行う技術を習得する 2 日間のコースである。

3. 調査 1

調査 1 では、業務遂行能力の評価値を用いた教育効果の計測式を定義するために、被験者に業務遂行能力の評価項目を列挙することを求めた。

3.1. 調査対象

調査1での調査対象は、NEXCESS におけるエントリレベルとミドルレベルの教育コース受講者 50 名と直属の上司であり、彼ら/彼女らが提供するデータを分析の対象とした。

3.2. 手続

被験者は、2007 年 5 月 24, 25, 31 日 6 月 1 日の 4 日間で開催した「組み込みソフトウェア開発技術の基礎」コースの受講者 30 名と、2007 年 6 月 28, 29 日の 2 日間で開催した「組み込みリアルタイム OS とネットワークの基礎 μITRON と TCP/IP」コースの 20 名に、直属の上司 50 名を加えた合計 100 名であった。

被験者の課題は、「業務遂行能力を評価する際に観察している点」について、Web ページに用意された課題回答欄に自由記述形式によって 200 文字以内で記載することであり、2007 年 9 月 12 日から 1 週間の期間に行われた。課題回答に用いる Web ページは、研究者が指定するインターネットアドレスとログイン名により認証を行い、HTTPS (Hypertext Transfer Protocol Security) プロトコルにより暗号化した通信を行い盗聴と改ざんから保護した。

3.3. データ分析

課題へ回答者は、受講者 38 名と上司 31 名の合計 69 名であった。本研究のデータ分析は、69

名が提供するデータを対象として実施された。

表 1 業務遂行能力の調査1で作られた全評価項目 (E_i)

管理力
$E1$: 品質 (機能性, 信頼性, 使用性, 効率性, 保守性, 移植性) を維持する能力
$E2$: 費用を管理する能力 (妥当な見積もりを立てるなど)
$E3$: 時間を管理する能力 (スケジュール遵守など)
コミュニケーション力
$E4$: チームメンバーと共同作業を行う能力 (繁忙時の作業振り分けなど)
$E5$: 上司への報告・連絡・相談の頻度と質
$E6$: 顧客とコミュニケーションをとる能力
技術力
$E7$: 担当業務を遂行する組み込みソフトウェア開発技術力 (プログラミング力など)
$E8$: 担当業務を含む業務全体を捉える能力 (業務内容を説明できるかなど)
$E9$: 問題発見および問題解決を行う能力
性向
$E10$: 業務遂行に好ましい性格 (積極的であるなど)
$E11$: 責任感の強さ (単なる忙しさを理由に仕事を断らないなど)
$E12$: 自己の能力を伸ばす取り組みを行う行動力

最初に、データを 2 名の研究者が個別に同一と判断する単位にまとめた。次に、合議により、合計 12 種類 ($E1$ から $E12$) の評価項目 E_i (Evaluation) を抽出し、管理力とコミュニケーション力と技術力と性向の 4 種類のカテゴリに、3 種類ずつ配置した (表 1)。

3.4. 評価

調査 1 の結果は、ソフトウェアエンジニアの職に就く組み込みソフトウェア技術者の業務遂行能力は、4 種類カテゴリに分類される 12 種類の評価項目を用いて評価することを示す。

各評価項目の値は、評価者と評価時期により異なることが想定されたために、評価値の表記を $f(H, T_j, E_i)$ と定義する。ここで、 H は評価者を、 T_j は評価時期を、 E_i は評価項目を示す。

本研究では、非評価者の業務遂行能力の評価値 BE (Business Evaluation) を 12 種類の評価項目ごとの値 $f(H, T_j, E_i)$ と重み係数 α_i の積和として定義する (式(1))。

$$BE(H, T_j) = \sum_{i=1}^{12} \alpha_i * f(H, T_j, E_i) \quad (1)$$

4. 調査 2

調査 2 では、式(1)における重み係数である α_i 値の定義を目的とし、新たな被験者に各評価項目の重要度を判定する課題を与えた。

4.1. 調査対象

調査 2 の調査対象は、NEXCESS におけるエン트리レベル向け教育コースの受講者と上司の 68 組であり、彼ら/彼女らが提供するデータを分析の対象とした。

4.2. 手続

被験者は、2006 年 11 月 30 日、10 月 1, 7, 8 日の 4 日間と 2007 年 5 月 24, 25, 31 日 6 月 1 日の 4 日間で開催した「組込みソフトウェア開発技術の基礎」コースの受講者と上司の 68 組であった。

被験者の課題は、「業務遂行能力の評価時に評価項目 E_i をどの程度重要と考えるか」を、Web ページ上に表示される反応入力ボタンを用いて 5 肢選択 (1「重要ではない」から 5「重要である」) で回答することであり、回答作業は 2007 年 10 月 5 日から 1 週間の期間に行われた。

4.3. データ分析

課題への回答者は、受講者と直属の上司を一对とする 27 組であった。本研究のデータ分析は、27 組の 54 名が提供したデータを対象として実施された。

27 組の受講者と直属の上司から得られたデータ (1「重要ではない」から 5「重要である」) を受講者と上司の群に分け平均し、評価項目 E_i を重要と考える値として求めた。評定群間で重要と考える E_i の順序が異なるという仮説を建て、ケンドールの一致係数を求めたところ、受講者と上司の群間において、重要度の順序は一致していることが確認された ($W = .949$, $\chi^2(11) = 125$, $p < .05$)。

4.4. 評価

調査 2 の結果は、ソフトウェアエンジニア向け教育において、受講者群と上司群が業務遂行能力を評価する際には、12 種類の評価項目 E_i を重要と考える順序が一致することを示す。そこで、評価式(1)の取り扱いを簡便にするために、 α_i の値を受講者と上司が評価項目 E_i を重要と考える値の平均値として定義する。

本研究では、Behavior 水準における教育効果の評価値 EE (educational effect) を、受講前と受講後における業務遂行能力の評価値 $BE(H, T_j)$ の差として定義する。すなわち、評価者を H とし、教育受講前の評価時期を T_0 とし受講後の評価時期を T_1 とすると、教育効果の評価式は式(2)となる。

$$EE(H) = BEC(H, T_1) - BEC(H, T_0)$$

$$= \sum_{i=1}^{12} \alpha_i (f(H, T_1, E_i) - f(H, T_0, E_i)) \quad (2)$$

5. 調査 3

調査 3 では、式(2)の評価を目的とし新たな被験者に評価項目を教育受講の 1 週間前と 1 週間後、さらに 4 週間後に評価する課題を与えた。

5.1. 調査対象

調査 3 での調査対象は、NEXCESS におけるエン트리レベル教育コースの受講者と上司の 30 組であり、彼ら/彼女らが提供するデータを分析の対象とした。

5.2. 手続

被験者は、2007 年 10 月 25, 26 日、11 月 1, 2 日の 4 日間に開催した「組込みソフトウェア開発技術の基礎」コースの受講者と上司の 30 組であった。

被験者の課題は、評価項目 E_i の評価値を求めることであり、Web ページ上に表示される反応入力ボタンを用いて 7 肢選択 (1「低い」から 7「高い」) で回答することであった。課題は、教育が始まる 2007 年 10 月 25 日の 1 週間前、教育が終了する 2007 年 11 月 2 日の 1 週間後、そして 4 週間後の計 3 回にわたり課された。

5.3. データ分析

3 回にわたり実施した全ての課題に対して回答が得られた者は、受講者と直属の上司 16 組であった。調査 3 のデータ分析は、16 組が提供した 32 名のデータを対象として実施された。

データを受講者と上司の評価値に分類し、各評価項目 E_i において、受講の 1 週間前と、1 週間後と、4 週間後における評価値の平均値を求めたところ、受講者と直属の上司の評価値とも、担当業務を遂行する技術力の評価 (E_7) において、受講の 1 週間前に比べ、1 週間後と 4 週間後の評価値が高くなる傾向が観察された。そこで、次の帰無仮説を検証した。

[仮説] 受講者 (直属の上司) による E_7 の評価値は、受講 1 週間前と 1 週間後、受講 1 週間前と 4 週間後の 2 種類の期間において、いずれも差があるとは言えない。

ウィルコクソンの符号順位和検定により、3 種類の評価時期における受講者の評価値の差を調べたところ、 E_7 の評価が受講 1 週間前と 1 週間後 ($Z(16) = 2.191$, $p < .05$) と、受講 1 週間前と 4 週間後 ($Z(16) = 2.628$, $p < .01$) に有意な差が認められた。他方、直属の上司による評価値の差では、

E7の評価が受講1週間前と4週間後に有意な差が認められた($Z(16) = 2.666, p < .01$)が、受講1週間前と1週間後には差が認められなかった。

5.4. 評価

調査3の結果において、E7の評価値は、受講者では、受講の1週間前に比べ1週間後に直ちに高い値を示し、その値は4週間後も保持されるが、これに対して上司では、受講1週間前と後で、両評価に差が認められず、受講4週間後に受講者と同様の高い値を示すことが確認された。

調査3において対象とした教育コースは、プログラミング演習を含み評価項目E7を高める内容である。受講者とその上司が、評価時期によってE7の評価値にズレを示すことを除き、受講後にE7の評価値が高まることは、式(2)が妥当であることを示す。

式(2)は、全評価項目 E_i の評価値を求めているが、評価項目はコースがいずれの評価項目を育成目標とするかに応じて選択し得る。

本評価結果においては、評価主体により受講1週間後と4週間後の評価値が異なるために、評価を複数回行う必要性が指摘されるが、受講後の評価実施時期としては、受講者と上司の評価が一致する受講4週間後が推奨される。

そこで、教育効果の計測のために選択した評価項目を E_j とし、受講1週間前の時期を TBI とし、受講4週間後の時期を $TA4$ とすると、教育効果の評価式は式(3)となる。

$$EE(H) = \sum_j \alpha_j (F(H, TA4, E_j) - F(H, TBI, E_j)) \quad (3)$$

6. 結論

本研究では、Behavior水準の教育効果計測として、ソフトウェア技術者の業務遂行能力に着目し、エントリーレベルのソフトウェア技術者向け「組込みソフトウェア開発技術の基礎」コースにおいて、教育効果の計測式を提起し、その利用可能性を検討した。

最初に、調査1において、4種類のカテゴリに分類される12種の評価項目 E_i を選定した。次に、調査2の分析の結果、受講者群と上司群の間には評価項目の重要度順に差が無いことが確認され、評価者に共通する教育の効果計測式を提案した。調査3の分析結果から、ソフトウェア開発技術力の評価項目において、受講者は受講1週間後に高い値を示すが、上司は4週間後に受講者と同様の高い値を示すことが確認された。

これらの結果は、本教育コースが、受講者の業務遂行能力の向上に有効であることを示すが、そ

の有効性が、受講者自身の自己評価においては受講後1週間程度の早い時期に、速効的に認められるのに対して、受講者の上司による他者評価においては、受講後4週間程度の遅い時期に、遅効的に認められることを示す。

社会人向け技術教育の効果を計測するには、受講者とその上司による評価の現れ方に遅延があり、非同期特性をもつことを勘案し、教育の前後に各1回ずつの評価を実施することが有効と考えられる。

本研究では、受講者に対する業務遂行能力の評価が上司において、受講者と同一の水準に到達するまでに、一定の時間経過を必要とすることを確認した。今後、教育効果の計測における透明性をさらに高めるために、上司による評価の遅れをもたらす要因のモデル化に向けて、さらなる実験調査が必要とされる。

謝辞

NEXCESSは、文部科学省科学技術振興調整費の助成により実施した。NEXCESSにおいて、組込みソフトウェア教育を実施している関係者の皆様に適切なご指導を頂いた。本研究の一部は経済産業省「産業技術研究開発(ソフトウェアエンジニアリングの実践強化に関する調査研究)」の一環として、IPA ソフトウェア・エンジニアリング・センターとの委託を受けて実施した。

参考文献

- Kirkpatrick, D. L., & Kirkpatrick, J. D. (2006). *Evaluating Training Programs Third Edition*. San Francisco: Berrett-Koehler Publishers.
- 経済産業省 商務情報政策局. (2007). *2007年版組込みソフトウェア産業実態調査報告書*, 東京: 経済産業省.
- 情報処理推進機構 IT スキル標準センター. (2007). *IT人材市場動向予備調査報告書*, 東京: 経済産業省.
- 山本雅基, 河口信夫, 阿草清滋, 間瀬健二, 高田広章, 富山宏之, 他. (2006). 社会人に対する組込みソフトウェア技術の再教育の取り組み, *電気学会論文誌 A*, Vol.126 No.7, 563-569.
- 山本雅基, 齋藤洋典. (2007a). 組込みソフトウェア教育の受講者と上司による受講後の教育効果評価, *工学教育* vol.55 No.4, 81-85.
- 山本雅基, 高田広章, 齋藤洋典, 間瀬健二, 河口信夫, 富山宏之, 他. (2007b). 組込みソフトウェア教育の実施効果に関する調査, *SEC journal* No.10, 45.