

# Finite Element Analysis makes a good engineer great, and a bad engineer dangerous ~CAEにおける失敗の要因分析

Finite Element Analysis makes a good engineer great, and a bad engineer dangerous  
~ Factor Analysis of Failure in CAE

荒井皓一郎<sup>1)</sup>， 渡邊浩志<sup>1)</sup>， 上野山拓也<sup>1)</sup>

Hiroshi Watanabe, Koichiro Arai, Takuya Uenoyama

1) Hexagon (〒101-0054 東京都千代田区神田錦町2-2-1 KANDA SQUARE 16 階

E-mail: [koichiro.arai@hexagon.com](mailto:koichiro.arai@hexagon.com))

From the perspective of general-purpose CAE software company, the authors often see dangerous use of CAE in engineering field of industry. In many cases such usage leads to various failures. In this paper, we will discuss about what causes failure and how to get out of it.

**Key Words :** CAE, Finite Element Analysis, Education, Study of Failure

## 1. はじめに

近年の計算機性能の向上や商用CAEソフトウェアの低価格化に伴い、CAEの産業界での活用が飛躍的に進んでいる。近年のデジタル技術に対する期待の高まりもあり、これまでに使用されてこなかった分野・領域にも広まりつつある。このような経緯から、CAEソフトウェアを使用するエンジニアの層も多種多様となっている。

20世紀の間、このようなソフトウェアはこれらの領域を研究対象とする研究者など、専門家が扱うものであり、GUIも存在はしたもの機能は不十分であった。また、研究段階にある多くの先進的な手法は自力での実装が必要であり、実質的に専門家以外は使用が困難な状況にあった。21世紀に入る頃からGUIの機能も向上し、高度な手法の一部は商用CAEソフトウェアにも実装され、ソフトウェアを購入すれば誰でも使用することが可能となっている。

ソフトウェアを使用する敷居は下がったものの、これらを使いこなすには、高い知識や技術が必要なままである。ソフトウェアを使いこなし、有益な計算結果を得ることができるかどうかは使用者の技術力に委ねられる。しばしば十分な知識や技術を持たないエンジニアがソフトウェアに振り回され、Finite Element Analysis makes a good engineer great, and a bad engineer dangerous! (By Robert D. Cook, Professor of Mechanical engineering, University of Wisconsin, Madison) という名言の示す状態に陥る。

上記のような失敗を回避し、CAEソフトウェアを正しく使い、正しい結果を得るための対策の一つがVerification and Validationであり、学会などで活発に議論

されいる。また、日本機械学会では計算力学技術者認定試験を2003年から実施されており、CAE技術者の能力の向上及び保証の役割を担っている。しかしながら、前述のような危険な状況に陥るエンジニアは後を絶たない。CAEソフトウェアの利用範囲が広がってゆく中で、そのような状況に至る原因や背景を分析し、その状況から抜け出す方法について議論を深めることは重要である。

前報[1]では、著者らがソフトウェアベンダーの業務の中で目にした、一つ間違うと危険な解析に繋がりかねない失敗例を以下の項目に分けて列挙した。

- ・ 線形 FEM の基礎を理解していない
- ・ 力学の基礎を理解していない
- ・ 非線形 CAE の基礎を理解していない
- ・ 技術者倫理を理解していない

本論文では、初学者の置かれる状況を分析し、どのような経緯で失敗に至るのか、また失敗した状態から抜け出せない原因について分析を行う。これらの分析から、初学者が正しく学習を進めるために何が必要かを考察する。

## 2. 初学者が超えなければいけない山

ダニング・クルーガー効果[2]と呼ばれる認知バイアスに関する仮説が知られている。ダニング・クルーガー効果は能力や知識が不足している人間が、自身の能力値や評価を過大評価する傾向があるといった内容のものである。人材教育などに関連して紹介されることがあり、そのような記事を参照すると、しばしば図1と共に紹介されている(例えは[3]や[4])。ここではこれらの主張の妥当性について論じることは避けるが、CAEに限らず様々な状況に

おいて共感できる内容と考えられる。

例として、高度なプロフェッショナル人材による集中的な指導を受けておらず、独学あるいはソフトウェアの使用方法の講習会を中心に学習を進める場合について考える。多くの初学者は、知識や技術を身につけるにつれて自信が高まり、"馬鹿の山"を登り始める。個人での学習や、同等の知識や技術を持つ人間のみが在籍するコミュニティ内では、自己的能力の評価を正確に行なうことは困難であり、評価を高く見積りがちである。更に学習を重ねて知識をつけ、教員・先輩・他組織の技術者など、自身よりもはるかに高い知識や技術を持つ技術者と関わる中で、世界の広さを知り"絶望の谷"に落ちる。ここで挫けずに研鑽を重ね、"啓蒙の坂"を上ることで客観的な評価を伴った一人前となり、"継続の大地"に至ってもなお歩み続けることでプロフェッショナルの域に到達する。

前報[1]の失敗例の多くは、基礎的な知識・技術の習得が完了していないエンジニアであれば誰しもが経験しうる失敗例である。これらの失敗は知識や経験によって回避することができ、失敗から学び、成長の糧とすることも可能である。このような姿勢は"絶望の谷"を超える過程で獲得されると考えられる。"絶望の谷"に到達することは、いわば研鑽を積む準備ができた状態といえる。

一方で"馬鹿の山"に留まり、自信のみが高まった状態は失敗を繰り返す負のループに陥る可能性がある。初学者にとって、"絶望の谷"に到達することが重要と言えるだろう。

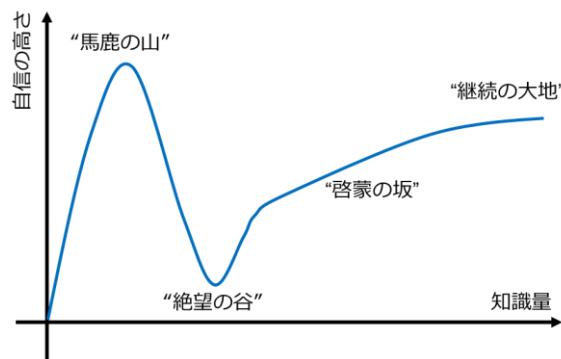


Fig.1 Dunning-Kruger effect

### 3. CAE初学者が置かれる状況

ここで、いくつかのケースを例にCAE初学者が置かれる状況について考えてみる。

#### (1) CAE関連分野を学ぶ学生

主に機械工学系や土木工学系など、CAE関連技術がカリキュラムに組み込まれている学生について考えてみる。彼らはバックグラウンドとして基本的な数学・力学の知識を有し、カリキュラムに沿って材料力学などを学ぶことになる。CAE関連分野の研究室を選択した場合、指導教員から更なる教育を受けることになる。基本的に指導教

員はこの分野のプロフェッショナルであり、"継続の大地"に至った良い見本である。多くの場合、研究を進める過程で自己評価が適正なものへと補正されていき"馬鹿の山"の頂上に到達することなく"絶望の谷"に至る。指導教員はいわば"絶望の谷"への案内人である。修士課程、博士課程に進む場合は研究を通して"啓蒙の坂"を上り始めることになる。

#### (2) 他分野を専攻し、メーカー就職後にCAE業務に従事するエンジニア

前述のような学科以外を卒業した後にメーカーに就職し、業務の中でCAE業務に従事することになったエンジニアについて考えてみる。

社内教育が充実した企業であれば、業務上必要な知識は社内教育を通して獲得することが可能である。しかしながら基礎学問の習熟度は学科によって様々である。例えば生物系や化学系の学科の場合、CAE関連分野の学習を進める上で数学や物理の理解度が課題となり得る。多くの場合、基礎学問については独学で学習を進める必要が生じる。大学であればカリキュラムがある程度用意されているが、専門外の領域を独学で学ぶのは、地図を持たずに森を進むようなものである。どのような順番で何を学べばよいか、また各学問がどのように関係し、どのように広がっているのか、このような情報を集約した"地図"が独学を助ける強力な武器となる。また、"絶望の谷"への案内人となる先輩や上司の有無によって、状況は大きく変わることになる。

#### (3) 製造現場での業務に従事する中小企業の技術者

CAEソフトウェアの活用範囲が広がる中で、加工などの製造現場での活用も広がりつつある。CAEに触れてこなかった企業では、CAEソフトウェアを万能な道具のように認識しがちである。特に中小企業では、CADオペレータとしての技術は習得していたとしても、数学や力学、計算機工学とは無縁だったエンジニアがCAEの担当者となる場合があり、関連知識が希薄な上司から彼らに対して過大な期待が寄せられることになる。

彼らが置かれる状況は前述の2つのケースと比べても非常に厳しいものである。近年になってCAEを導入した企業では、多くの場合社内に"案内人"は不在である。この場合、外部との関係を適切に構築しなければ、閉鎖的な環境で失敗を繰り返す負のループに陥りかねない。また、基礎学問の習得についても前述の2例とは異なる困難があるだろう。

#### 4. なぜ失敗から抜け出せないのか

人は誰しもが失敗を経験する。重要なのは失敗から学び、同様の失敗を自身や後身が繰り返さないように対策することである。

前報[1]で挙げた失敗例は、研鑽を積む過程で問題のあ

る行動であることを認識する場合や、十分な知識を有するエンジニアからの指摘によって失敗と認識することが多いだろう。しかしながら、失敗を失敗と認識できない最悪のケースも容易に起こり得る。

例えば「なんとなく材料物性を変えたら実機の挙動に合った」など、明らかな失敗例を成功体験として誤認してしまうケースである。本人たちは成功事例として認識してたため、問題のある行為であることを認識できない。このような誤った成功体験は、自己評価を更に高く見積もる原因となり、“馬鹿の山”に定住する危険がある。“絶望の谷”に到達してないエンジニアのみの閉鎖的なコミュニティでは、自ら失敗から抜け出すことは困難と言える。

## 5. 正しく“絶望の谷”に至り、“啓蒙の坂”を上り始めるには

これまで述べてきたように、以下が揃った環境下では正しく“絶望の谷”に至ることが可能と思われる。

- ・ 分野の全体像、進むべき道が分かる“地図”
- ・ “継続の大地”に至った先人
- ・ “絶望の谷”への案内人

学習を進めるには独学が少なからず必要となる。精度の高い“地図”を持つことで学習を効率良く進めることができる。“地図”には初学者がどのようなルートで学べば良いか、またそのルートの先に何が獲得できるかが示されていることが望ましい。そして、“継続の大地”に至った先人との関係を築き、案内人となる指導者との研鑽の中で自己評価が適正化されて“絶望の谷”に至る。

前述の要素に加え、モチベーションの獲得も重要である。案内人と共に“絶望の谷”に至る過程や、“啓蒙の坂”を上っていく過程はいわば修行である。多くの人間にとって、知識欲のみでモチベーションを維持することは困難であり、定期的に達成感や目に見える成果を得られる仕組みが必要だろう。

閉鎖的な環境では様々な問題が発生する可能性があることに注意する必要がある。前節で述べたように、閉鎖的な環境では失敗のループに陥る危険性があり、自身で抜け出すのは困難である。自身の所属する環境で前述の3つの要素をそろえられない場合、外部での確保を検討する必要がある。このような役割は学協会が担えることが理想と考えるが、計算工学会を含め初学者にとっては敷居が高いコミュニティとなっているのが課題である。この観点から、各県や主要都市に設置され、地域に密着して活動を進めている公設試験所の役割が今後ますます重要なってくると考えられる。学協会としては公設試験所の活動を能動的に支援することで、問題解決に貢献できる可能性がある。

## 6. まとめ

本論文ではCAEにおける失敗の要因について、初学者

の置かれる状況から分析を行い、失敗から抜け出せない原因について考察した。

CAEの活用が広がっていく中で、初学者に対する教育は非常に重要なトピックである。本論文で述べた通り、CAE初学者のおかれる状況は多種多様となっており、今後より一層問題となる可能性がある。今後も状況を分析し、議論を続ける必要がある。

## 参考文献

- [1] 渡邊浩志, 荒井皓一郎, 上野山拓也, Finite Element Analysis makes a good engineer great, and a bad engineer dangerous ~ CAEにおける失敗学 , 計算工学講演会論文集, Vol.27, D-02-03, 2022
- [2] Kruger, J., Dunning, D., Unskilled and Unaware of It: How Difficulties in Recognizing One's Own Incompetence Lead to Inflated Self-Assessments, J Pers Soc Psychol. Vol. 77, No.6, pp.1121-1134, 1999
- [3] HR BLOG 「ダニング=クルーガー効果とは?陥りやすい人の特徴と対処法」  
[https://motifyhr.jp/blog/training/dunning-kruger\\_effect/](https://motifyhr.jp/blog/training/dunning-kruger_effect/)  
(参照日 2023/4/6)
- [4] Joseph Paris “Lessons from Mt. Stupid”  
<https://josephparis.me/my-articles/lessons-from-mt-stupid/> (参照日, 2023/4/6)