

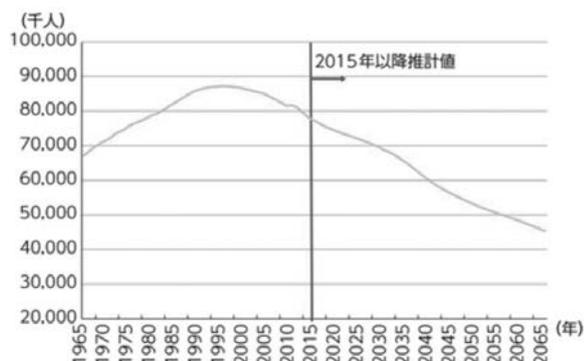
# 映像解析技術の活用による 技能伝承と生産性向上の取り組み

株式会社浅沼組 土木事業本部 建設マネジメント室 たむら やすし  
田村 泰史

## 1. はじめに

平成最後の夏は、日本各地で高温を記録し、30年に一度の異常気象と称される極端現象であった。これらの極端現象による水害のほか、地震、噴火など激甚化する自然現象の変化に対する中長期的な観点として、強靱化、防災・減災、地域デザインなど経済性の高いストック効果による社会資本整備への要求がさらに増大している。それらの要求を担う建設業は、従来の「作り手」とともに「守り手」としても大きな責務と実行力を有する存在として、生産能力の維持に努めなければならない。

一方、我が国の建設業は、1996年からの生産年齢人口の減少（図-1）により高齢化に起因す



(出典) 2015年まで：総務省「国勢調査」, 「人口推計(各年10月1日現在)」, 2016年以降：国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口(平成29年4月)」(出生中位・死亡中位推計)

図-1 我が国の生産年齢人口の推移

る建設従事者不足の加速が予測され、受け継がれてきた建設業のインフラ供給力を維持させなければ、国土の保全はもとより、確固たる次世代への発展を継続させることができない状況である。

このような背景を踏まえて、国土交通省では、建設現場の生産性革命として「i-Construction」を打ち出し、生産性向上と魅力ある建設現場を目指し、情報化施工や構造物のプレキャスト化の推進、新技術活用による自動化等の取り組みを加速させている。

しかし、高度技術を活用した効率化対策もオペレーティングや意思決定などの生産活動の基本は、人の技能によるところが多く占められており、人材育成による技能伝承の活性化も、担い手確保による生産性向上対策の一端として重要視される場所である。その中でも熟練者の保有する技能は、長年培ってきた経験と勘やコツといった暗黙知によるものであり、従来、その手法として「熟練者の背中を見て盗む」、「繰り返しの口伝により真似る」、「失敗により手法を見出す」といった熟練者などの先駆者との協働作業の経験による積み重ねで習得し、後進者へ継承させるといったスタイルで受け継がれてきたものである。しかし、前述の社会的要請や人材不足といった現状により従来の伝承方法では十分に機能せず、さまざまなニーズへのタイムリーな対応ができなくなることが自明であるため、早期の対応が建設業を含

めた多くの分野における課題となっている。

そこで当社は、映像解析技術の活用で熟練者の技能の「記録・解析・見える化」により、効率的な形式知化を実施させるシステムの開発について研究を行ってきた。

本稿では、当社が研究開発を進めている、熟練技能維持システム（Ai-MAP SYSTEM（アイマップシステム）<sup>1)</sup>のうち、作業動作解析手法を活用したモーションレコードシステムの試行実験による技能伝承と生産性向上対策への検証について紹介する。

## 2. プロジェクトの概要

当社では、AI（人工知能）とIoT技術の活用で熟練者の技能を見える化させる「熟練技能維持システム（Ai-MAP SYSTEM（アイマップシステム）」の開発を行っている。

システムの概要としては、センサによる位置情報や作業の映像データを独自に開発したツールで作業者の動態計測を行い、それらの計測データをAI（人工知能）とIoTの活用により、熟練者が保有する行動特性や判断能力を動線軌跡図や稼働特性のグラフ等の出力による見える化で、生産管理に活用させるものである（図-2）。

また、出力データの活用記録（データによる判断および実施工との乖離に対する処置等）や過去の施工事例等を集約し、技能のアーカイブ（記録

を保存・活用し未来へ伝達すること）システムとして伝承や教育訓練ツールへの活用も見込んでいる。

データを採取するための計測ツールは、従来の技能伝承行為のポイントとなる基本行動を再現させる形式を採用しているところが特徴である。その伝承行為のポイントを以下にとりまとめる。

- ① 熟練者の背中（動作）を見て盗む、真似るといったタイプ（モーションレコードタイプ）
- ② 繰り返しの情報伝達（口伝）による刷り込みで習得するタイプ（コミュニケーションレコードタイプ）
- ③ 現場実践での経験（失敗）や訓練により意思決定の手法を見出すタイプ（シミュレーションレコードタイプ）

これらの3つのレコードタイプを考慮した計測ツールで、技能を見える化させるためのデータを採取する。

ここで、システムの基幹となる計測ツールについて簡単に説明する。それぞれのレコードタイプを具現化させるため、GPSセンサによる動態計測、稼働状態を定量化するための作業動線解析、統計分析手法を活用した生産能力解析、そして動作を定量化させる技能動作解析といった4つの基本手法（図-3）をAIやIoTを活用し、人の感覚や判断能力を再現させるための定量化データを採取するツールである。「Ai-MAP SYSTEM（アイマップシステム）」は、これらの計測ツールのデータの組み合わせにより、技能伝承や生産能力

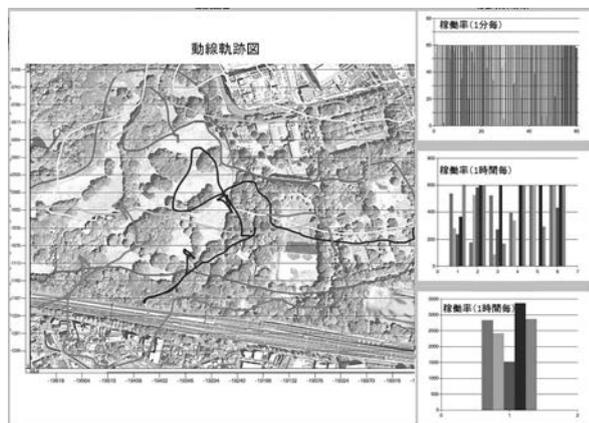


図-2 動線軌跡図と稼働グラフ

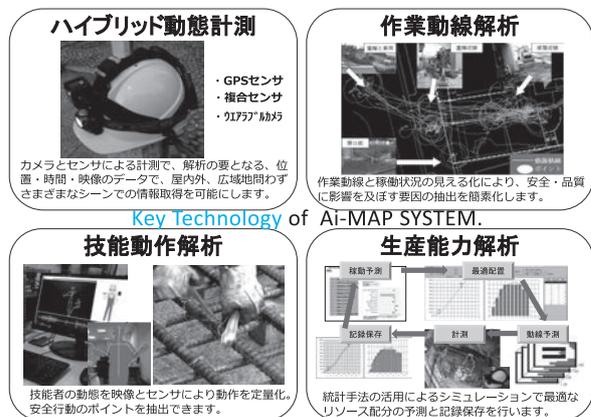


図-3 システムの基本解析手法

の活性化を促すことを目的としている。

今回は、前述①のモーションレコードタイプである技能動作解析手法を活用した、モーションレコードシステムの試行により検証を行った。

モーションレコードシステムは、作業者の作業状況の動画データを AI による映像解析技術で関節位置の軌跡や運動量の定量化により動作の特徴が見える化させるものである（図-4）。

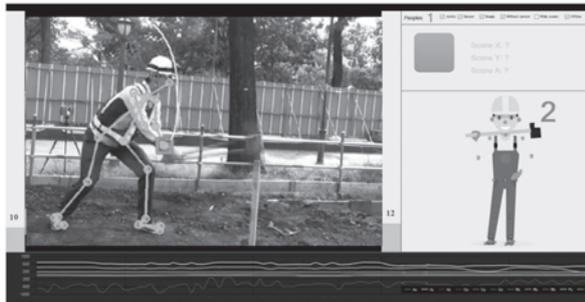


図-4 モーションレコードシステム解析画面

このシステムの特徴として、映像データでの解析であるため、屋外作業の環境条件に広く対応できることや、過去の作業状況の映像も定量化できるところにある。また、各種センサを併用することで、稼働の速度やバイタル、位置情報など詳細なデータに基づいた高度な解析も可能となる。従来は、動画データを見ることにより動作の感覚やコツ、作業の手順などの知識を視覚的に習得してきたが、このシステムの活用により、姿勢や重心の位置など定量的な情報により、早期の習得が可能となる。また、定量化データのアニメーション化（図-5）による教育訓練マニュアルとしての活用や、次世代のロボット開発技術に向けて、熟練技能者のスキルに近い動作のプログラムデータとして活用することも可能であろうと考える。

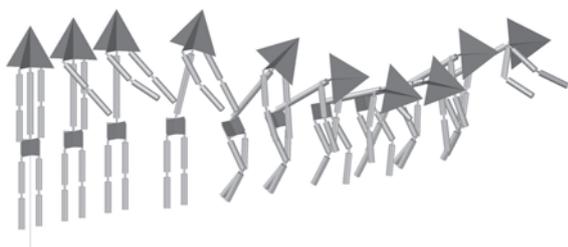


図-5 モデルのアニメーション化（イメージ）

今回の試行では、現時点の撮像データと過去に記録した映像データの解析により、今後の活用についての検証を行った。

### 3. 試行による検証

#### (1) 試行の概要

映像データの採取として、木製ハンマーによる測量杭打ちの動作をモデルに行った。杭打ちをモデルとした理由としては、現場管理業務において、多くの技能者が経験していることと、その経験や個性によりスタイルがさまざま、スキルとしての特徴を解析により評価しやすいためである。また、その動作の良否が作業内容に大きな影響を与えるものであり、例えば、測量の正確性や進捗など定量的な評価が可能なところもある。しかし、杭打ちの手法について具体的にマニュアル化したものを筆者は確認したことがないため、そういった面でも形式知化させる技能として、最適なモデルであると判断した。

計測方法は、平坦な粘性土地盤において、木製ハンマー（3.6 kg）での測量杭（90 cm）の打込みを固定ビデオカメラで打込みの状況を側面と正面より撮像し、解析用の映像データとする（写真-1）。計測の技能者サンプルとしては、未習熟者、経験者（5年程度）、熟練者の3者としスキルを比較した。また、未習熟者については、初回と数日間の期間を経た2回目の計測を行い、スキルの変化を観察することとした。



写真-1 杭打ち作業の例

(2) 解析結果と考察

以下に、試行による解析結果の検証を未習熟者のスキルの変化と経験者の特徴の比較について行った。解析による出力は、関節モデルの動画と定量化データによる軌跡図である（図-6、7）。

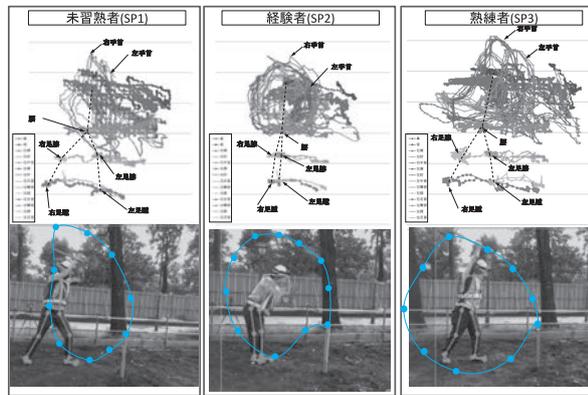


図-6 解析による出力

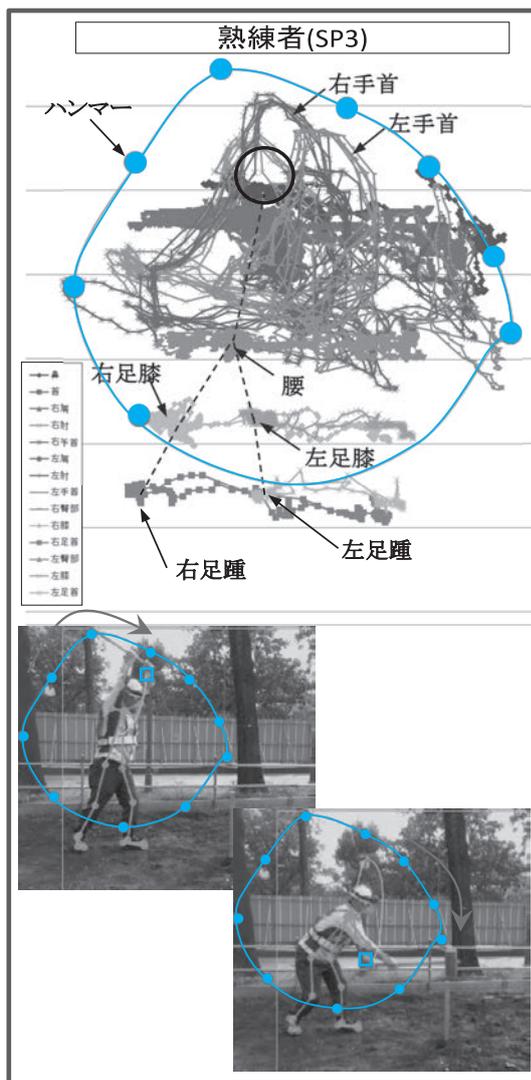


図-7 解析による出力

① 未習熟者のスキル変化

未習熟者の試行は、1回目の後、熟練者の動作解析結果や動画の閲覧などの情報を付与し、数日間の期間を経た2回目の実施によりスキルの変化を検証した（図-8）。

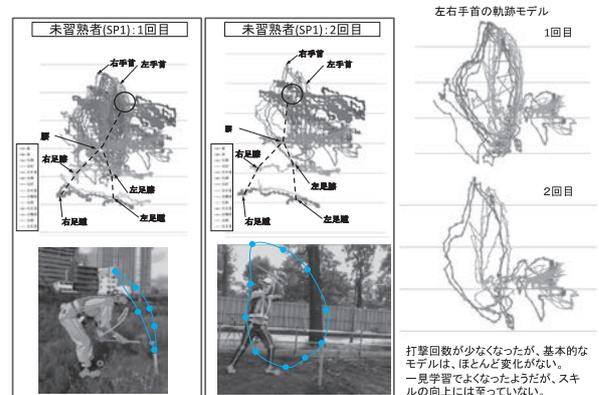


図-8 未習熟者の解析結果

打込みのフォームとハンマーの軌跡より、“打ち方”としては、大きな変化が見られる。これは、熟練者の動作を観察した結果による真似によるものが大きいと判断される。やはり、“見よう見真似”といったものは、スキル習得の一端になるようだが、この解析結果の左右手首の軌跡モデル（図-8右側）を見ると、その形状より基本的な動作は変化していないことがわかる。つまり、熟練者のような規則的な連続円運動が理想的な形状とすれば、ハンマーに加える打撃力は小さく、2回とも同じ形状であることで本来の上達といったところには至っていないと判断できる。

さて、このまま経験を重ねると上達するのだろうか？ここで、当該システムの活用による効果が浮き彫りになる。つまり、できるだけ早く、正確なスキルを習得するためには、見た目の真似だけで訓練を繰り返すのではなく、連続円運動を生み出すためのスキルのポイントを具体的に把握させるところが重要であり、動態の軌跡モデルがその役割を担うことになる。これは、定量化により得られる効果である。そしてこの効果は、習得する当事者だけではなく、伝承する側もその意識を持って、ポイントを的確に記録保存していくことで効率的に成果を生むことになると考えられる。

ちなみに、この検証後、当事者に上達に関するヒアリングを行った結果、上記の考察と同様に、ポイントに対する理解が必要であることと、慣れないハンマーの扱いに対する恐怖心の克服方法を伝授して欲しいとの見解を得た。つまり、解析データとともに、このようなポイントや経験値を盛り込んでおくことにより効率的な成果を得るものであると考えられ、今後のシステム改良において考慮しておきたいところである。

## ② 経験者の特徴

次に3者（未習熟者（以下、「SP1」という）、経験者（SP2）、熟練者（SP3））のデータを検証することにより特性を抽出した（図-9）。

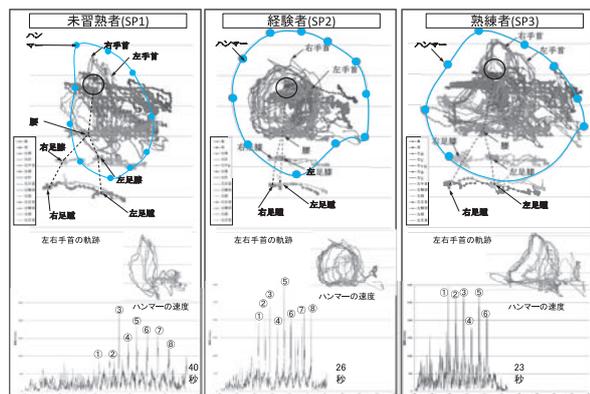


図-9 解析による出力

SP2は、円運動で一番大きな速度があったが、SP3の方が少ない打撃回数で打ち込んでいた。その違いは、低い重心でバランスの良い回転による遠心力によるものであると思われる。この特徴により用途を考慮するとすれば、SP2は、軽微な打込みや狭い場所に適しており、SP3はそれに加えて、固い地盤への対応が可能である。また、SP3は、鉛直性が一番優れていることから、精度が要求される作業には不可欠であり、生産性の高い見本としての評価が妥当であろうと考えられる。SP1との違いは明瞭で、前述のとおり、連続円運動がスキルの違いとなって表現されているのではないかと考えられる。

## ③ 考察

以上の解析結果の検証により、効率的な技能伝承の方法と生産能力の見える化について、以下にとりまとめる。

まず、効率的な伝承の方法としては、視覚的（盗む）、定量的（ポイント）に加え、失敗を克服するためのコツ（経験値）を加えることにより効率的な伝承を達成できる。これは、伝授する側もポイントの把握が必要である。

次に生産管理の見える化としては、個人の癖も含まれるが、スキルにより左右手首の軌跡などの動作（関節）の軌跡に特徴が見られる。この軌跡をモデル化し生産量とリンクをさせることで、新しい稼働率のモデルとして確立できる可能性があるのではないかと考えられる。具体的には、軌跡をAIの活用によりスキルモデルとして認識させ、生産量の情報を持ったデータとして解析を行うことにより、個人や施工班単位の能力や安全行動が見える化され、エラーを事前に防止できる生産管理の最適計画システムとしての構築が可能になると考える。

## (3) 実施工への適用

実施工データへの適用によるシステム汎用化の検証として、過去の映像によるデータ解析を実施した。

サンプルは、鉄筋組立作業を未習熟者と熟練者の作業状況の動画データを解析した（図-10）。

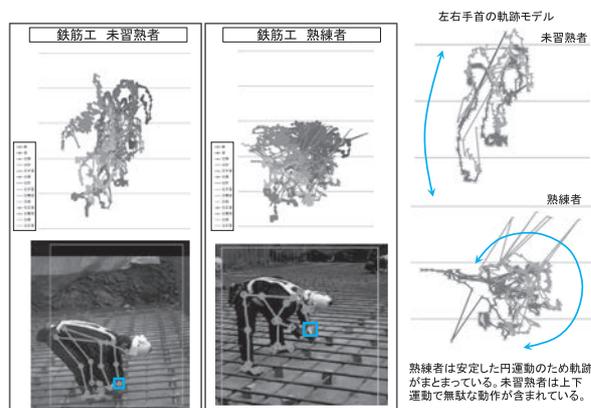


図-10 過去の映像の解析による出力

関節の軌跡図から熟練者は、無駄な動きがないのが良く分かる。前述のハンマーによる軌跡と同様に、熟練者は安定した連続円運動であるため、無駄のない滑らかな動作といったものは、スキル評価基準としてさまざまな工種に適用できるのではないかと考えられる。

今回の映像データは、手持ちのカメラによる撮像データによるものであったが、連続したある一定の画角が確保されたデータであれば、解析は可能であることが確認できた。また今後の開発として、画像内の解析範囲を広げることにより、複数人の技能者も認識できる機能を追加し、解析精度の高度化を目指す。

## 4. おわりに

モーションレコードシステムによる試行と検証により、技術伝承への活用と生産性向上の対策について述べた。システムの活用により技能の特性を見える化させることは、現時点では、簡易的ではあるが映像解析技術の活用により定量化データの出力が可能となった。しかし、熟練技能者の振舞い、スピード、洞察力は記号理論や一般の問題解決過程のようにきれいに定義されたモデルとして捉えることはできない<sup>2)</sup>とされるように、人の培うスキルは最も精密なセンサであると考えられ、全てを再現させるためには多くの開発工程を経なければならない。しかし、次世代へ向けての我が国の建設生産には、スキルの活用が最終的には必然性の高いものになってくると思われるため、今回の試行のように部分的な解析でもその特性をモデルとしてデータ化しておくことは、今後の技能のアーカイブとして重要であることがわ

かる。また、論中にも述べたが、解析データのみではなく、伝える側も巧く伝承させるための工夫やポイントの伝授等の“伝え方”のスキル<sup>3)</sup>も同様に重要度が高く、改めて認識を持たなければならないところであり、当該システムの開発を継続させる意義もここにあると考える。

最後に、当該研究のようにスキルの見える化が歩掛の実態調査として解釈され、施工者(受注者)の観点(立場)からでは、したためてきた懐をあえて露見させてしまうのではないかとこの所見をいただくことがある。しかし、それは従来までの状況下におけるものであり、今後は、スキルや稼働状態をコスト面による断片的な観点ではなく、生産部門の総合的で中長期的視野を持った、受発注者の良好なコミュニケーションによる迅速な判断と適正な評価で、最も美しい軌跡を今こそ描いておくことこそ、担い手確保による生産性向上の本質に届くことができるものではないのかと考える。

これから平成最後の冬を越し、新しい時代を迎えることになる。過ぎた日々、瞑目の先駆者から受けた口伝を炬火として蓄積された研究開発の糧が、次世代建設生産活性化の一助になれば幸いである。そしてその炬火を守り続けることは、我々の責務であり、先代の意志を抱いて開発に取り組むことを誇りに次世代に継承したいと思う。

### 【参考文献】

- 1) 稲垣孝：作業動線解析を活用した熟練技能維持システムの開発について、建設マネジメント技術、2016年5月号、p.37～43、2016
- 2) 山本孝：熟練技能伝承システムの研究、p.124、2004
- 3) 森和夫：技術・技能伝承ハンドブック、p.218、2005