

# 工程マネジメント手法の発展と これからの課題

芝浦工業大学工学部建築工学科 准教授 志手 一哉

## 1 はじめに

建設技能者不足の問題が顕在化して久しい。それを打開する鍵が、建設現場の生産性向上にあることに、異論を挟む余地は少ないと思われる。プロジェクトを効率的に進め、その結果として得られる余剰を建設技能者に還元することが、若年者に対する建設産業の魅力創出に繋がっていくと考える。その方策の一つが、プレファブリケーションの促進であり、BIM (Building Information Modeling) を始めとしたデジタル革命がそれを支えることになろう。

もう一つの方策として重要と思われるのは、工程マネジメント手法の発展である。現場における生産性向上の要点が、PDCAサイクルの永続的な回転にあることは自明である。しかし、元下請契約が請負契約の場合、元請は、プロジェクトの中で建設技能者の省人化を目指す意義を見出しづらい。また、元請が下請けの建設技能者に細かな作業指示を与えたり、彼らの時間管理をしたりすることは、法律に触れる可能性がある。このようなことも影響しているのか、工程マネジメントの実務が、建設現場の生産性にまで踏み込んだ発展をしてきたと言えないのではないかと思う。その一方で、アカデミックの世界では、建設現場の生産性に注目した工程マネジメント手法の研究が粛々と進められてきたことも事実である。本稿では、その経緯を簡単に振り返り、工程マネジメントの

在り方についての考察や将来展望を、僭越ながら述べさせていただきたい。

## 2 100年前の問題意識

本稿では、工程マネジメントに関する研究の経緯を概観する情報源として、CiNii (NII学術情報ナビゲータ [サイニィ]) を利用する。CiNiiとは、国立情報学研究所 (NII) が運営する、日本で発表された論文、図書・雑誌や博士論文などの学術情報を検索できるデータベース・サービスである。

CiNiiで工程マネジメントに関するキーワード検索<sup>1</sup>を行うと、最も古い文献として、1916年に竹田米吉が執筆した「工程表と日誌とに就て」を確認できる。竹田米吉とは、1889 (明治22) 年に東京・神田の小棟梁の家に生まれた職人上がりの技術者である<sup>1)</sup>。11歳の時に大工の年季奉公にでた後、工事現場を監理する監督を志し、15歳の時に昼間は実家で大工仕事を続けながら、夕方に工手学校に通う道を選ぶ。工手学校を卒業後は、横河工務所で現場監督の仕事に就く傍ら、1910年に早稲田大学建築学科に入学する。その後は工学士を持った技師として施工の分野で活躍した、実理融合の人物である。

「工程表と日誌とに就て」で竹田<sup>2)</sup>は、建築工事を経済的な視点で見て、建築工事の期間を短

1 本稿の執筆にあたり検索したキーワードを式であらわすと、(建 or 工事 or 施工) and (工程 or スケジュール) である。

縮すべく工程の標準をつくることは、建築家が当然負うべき責任であると述べ、そのために工事期間の予定を科学的に比較研究することが重要と指摘している。この論文における竹田の研究方法は、以下のとおりである。まず、工事毎に積算した所要材料の総量から施工順序と工程、及び各工事に必要な建設技能者の総数を推測し、施工能率、施工数量、材料の輸送能力や現場の仮置き場の状況、建設技能者の能力などを勘案して、日々の施工量と就労者数を工程に按分して割り付けた工程表を作成する。次に、工事別に作成した「カード式」の日記を用い、日々の就労者数を工程別に現場係員に記録させ、就労者数を予定と実施で比較管理する。その結果、現場係員が、科学的に経験を理解できるようになり、日常の現場管理の意義を認識し、現場にて些細なことで技能者を叱責するとか無目的に現場に出たりするような、監督員の悪習を打破し得ると考察している。

この100年前の論文で目を見張るのは、工程の標準をつくり、かつ改善して工期を短縮することを目的に、建設技能者の労働生産性に着目し、工程の計画手法と管理手法及び実態調査の三点を一体的に捉えた工程マネジメントの方法論を考案していることである。

### 3 工程マネジメント研究の歴史

#### (1) データの取得

ここで再び、CiNiiの検索結果に戻り、工程マネジメントに関する研究の成果を振り返ってみよう。本稿で扱う情報は、CiNiiの論文検索結果から建築と土木に関する文献を抽出し、建設工事の工程マネジメントの研究に関係のない文献を除いたものである<sup>2</sup>。その結果、竹田論文から2015年3月に発表された文献に至る、計476編に及ぶ文

2 「建築」「土木」の分野は、タイトルと掲載誌名で判別し、設計工程、歴史、教育、構法・工法開発、プロジェクト報告に関する文献のほか、著者名のない文献、市販雑誌の記事、研究年報、論文の論評、討議・回答、学位論文要旨を除外した。

献リストのデータセットを作成した。これらが工程マネジメントの研究に関する文献を網羅しているとは言えないが、研究の経緯や傾向を推し量ることはできそうである。

このデータセットで竹田論文の次にあらわれるのは、それから33年後の1949年に建築と社会30巻5号に掲載された、越智隆晴「工程表と進捗表の活用について」である。タイトルを見る限り、竹田論文と似た方向性の内容と推測される。この翌年から工程マネジメントに関する文献は増加の一途をたどる。図1は、データセットにある1950年以降の文献をタイトルで判別して「計画手法」「管理手法」「実態調査」に分類し、その発表年を10年毎に集計した棒グラフである。文献数は、2000年代まで増加傾向にあり、その多くを計画手法が占めている。次節以降では、年代毎に研究の傾向を概略的にまとめ、工程マネジメントに関する研究の発展を簡単に振り返る。

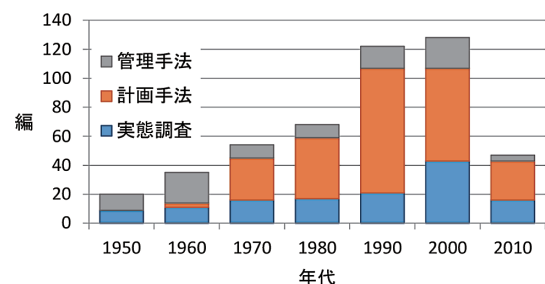


図1 工程マネジメント研究の文献数の推移

#### (2) 草創期（1950年代～1960年代）

##### 1) 1950年代

1950年代は、戦後の住宅不足に対処した鉄筋コンクリート造の公営アパートの建設が本格化する時期である。科学的工程管理の機運が高まる中、工事現場の実態調査から標準所要労務工数の導出を試み、その累積がS字曲線となる性質を発見して工程管理に利用しようとする研究が、建築研究所や地方整備局営繕部を中心に行われている。具体には、全体工期を、地業・基礎工期、躯体工期、仕上工期の三期間に分け、各々の所要日数や各工事の出面の推移を複数の現場で比較して、その特

性の共通性を把握しようとしたものがある<sup>3)</sup>。更に、ある時点の進行程度と施工速度を適時把握することに加え、具体的な日数で工程遅延のリスクを認識するために、標準化された労務工数で略算した出来高を縦軸に、工期を横軸に取った予定工程曲線と実施データで工程を管理する手法の研究が行われている<sup>4)</sup>。

## 2) 1960年代

1960年代は、1958年に米国海軍のポラリスミサイル開発計画<sup>3)</sup>に採用された「PERT (Program Evaluation and Review Technique)」と、同じ時期に米国民間会社で開発された「CPM(Critical Path Method)」が日本に紹介され、PERT/CPMを用いたネットワーク工程に関する文献が急増する。ネットワーク工程とは、「工事を完成するために必要な各種工程を単位作業に分割し、それぞれの作業の相互関係が分かるようにネットワークに表示して、最も合理的に工程計画を立て工程管理を行う方法」<sup>5)</sup>で、PERT/CPMは、ネットワーク工程表において、所要期間の見積りや工程管理を行うための手法である<sup>4)</sup>。

本稿で作成したデータセットの中で、PERT/CPMを紹介した最も早い文献は、米国におけるPERT/CPMの開発から7年後の1965年に、建

築<sup>6)</sup>と土木<sup>7)</sup>の両分野で掲載されている。その後、1968年に、日本建設機械施工協会の機関誌『建設の機械化』で土木分野におけるプロジェクトへのPERT/CPM適用事例の特集が生まれ、『建築雑誌』83巻992号に建築学会材料施工委員会ネットワーク分科会による「建築工事における新しい工程計画と工程管理の方法“ネットワークによる工程の計画と管理”の指針(案)」が掲載され、PERT/CPMに基盤を置いたネットワーク工程の考え方は急速に広がる。

図1で1960年代の分布を確認すると、PERT/CPMは、工程計画ではなく管理手法として調査・研究が進んだようである。その背景には、1960年代後半に始まった建築の超高層化で、工事内容や工事の体制が複雑化していく過程において、プロジェクトの特性に応じた管理の技法や、工程と工程の相互関係や問題点の在り処を可視化して工程管理を能率的に行うことが必要とされ始めたことが挙げられる。

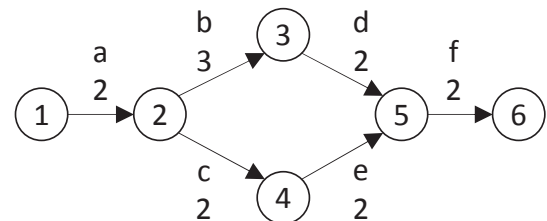


図2 ネットワーク工程の例

3 ポラリスミサイルとは、冷戦期に米国海軍が開発した、核弾頭が装備された潜水艦発射弾道ミサイルである。1957年、旧ソビエトが人工衛星スプートニクを打ち上げたのを受け、米国政府は、当初の予定を2年近く短縮してポラリスミサイル潜水艦を建造した<sup>21)</sup>。

4 PERTとは、1956～58年に、ポラリスミサイル開発の工期短縮に際し、同計画に参加する3,000人以上の要員の仕事を調整するために研究された。PERTでは、ある作業の所要時間を推定するために、楽観値(O)、悲観値(P)、最頻値(M)を用意し、最もありえる日数(Te)を次式で見積る<sup>22)</sup>。

$$Te = (O + 4 * M + P) / 6$$

CPMとは、費用最小の条件で最適の工期を求めることを目的に、デュボン社が1957年に完成させたアルゴリズムである。

図2のネットワーク工程で、a = 2日、b = 3日、c = 2日、d = 2日、e = 2日、f = 2日とすれば、作業aが最も早く完了する日にち(EFt=Eariest Finish Time)は0 + 2 = 2日、作業bのEFtは作業aのEFt: 2 + 3 = 5日と計算される。同様に、全作業で計算すると、c = 4、d = 7、e = 6、f = 9 (fの計算ではdとeのEFtの大きい方を用いる)となる。作業fのEFt: 9日は、図2の工期である。反対に、作業dが最も遅く完了する日にち(LFt=Latest Finish Time)は、作業fのLFt: 9 - 2 = 7日となる。これを全作業で計算すると、e = 7、b = 5、c = 5、a = 2 (aの計算ではbとcのLFtの小さい方を用いる)となる。LFt-EFt = 0の作業をつないだパス(a-b-d-f)が、日程の余裕がないクリティカルパス(最長パス)である。

## (3) 発展期 (1970年代から1980年代)

### 1) 1970年代

1970年代は、図1に示すように、計画手法に関する文献が急激に増える時期である。その一つの方法性は、PERT/CPMを基軸とした工程計画の研究である。具体的には、電子計算機を利用した、プロジェクトの概略計画段階における工法-工期の探索的なシミュレーション<sup>8)</sup>、工程計画の最適化<sup>9)</sup>などが挙げられる。この方向への発展は、建築と土木の両分野に共通した傾向である。

もう一つの方法性は、積層工法に代表される

「繰り返し型」の工事計画<sup>5</sup>における、複数の作業チームの作業スケジュールを計画しようとするもので、マルチ・アクティビティ・チャート(MAC)と呼ばれる工程計画手法である<sup>10</sup>。

MACとは、「繰り返し工程の1サイクルに含まれる作業を細かく分析して作成した、各作業チームが行うべき作業の時間割」である。表1に掲載したMACの例<sup>11</sup>は、クレーン・壁型枠大工・ユニット型枠大工・開口先付大工・鉄筋工・応援の6作業チームが、6日のサイクル時間の中で最大の稼働率で働くことができるように、1/4日単位の時間割に作業を割り付け、それをどの作業チームが担当すべきか、クレーンの不足が生じないかを調整し、その結果を各作業チームの作業の時間割表として表記したものである。

MACの特色は、「1日」という仕事の区切りの概念を導入したことにある。例えば、終業時刻に終わらない作業があったとしても、若干の残業や、繰り返しの中で作業の処理時間が早くなる「習熟効果」で、計画した時間割表どおりの進捗に収斂することを期待する。この考え方は、PERT/CPMで考慮していなかった。PERT/CPMがモノの流れを中心とした工程であるのに対し、MACはモノの流れとヒトの流れを同時に考慮して検討するのである。

これら二つの方向性は、PERT/CPM導入当初

5 一般的な工法が躯体工事や外装工事など工事毎に進捗するのにに対し、積層工法は躯体施工階(N階)から順次、下階に下るに従って、外壁や内装を施工し、それを躯体工事と同じ日数で進捗させる。タクト工程とも呼ばれる。一般的な工法と比較して大幅に工期を短縮できる反面、技能者や揚重機の稼働率が上がるため、緻密なスケジュール管理が必要になる。

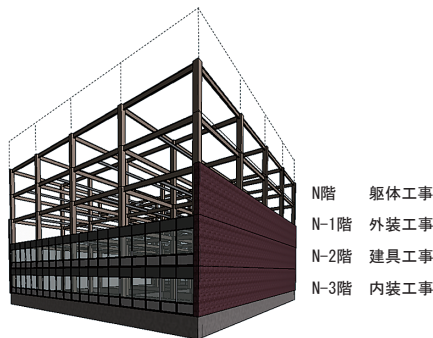


図3 積層工法の例

からの課題であった「マルチ・プロジェクト問題<sup>6</sup>」に対する、ある意味の解決案を提出している。前者は、各プロジェクトの作業順序が一定にならないことを前提に、着手可能な作業を前倒しして全体工期の最小化を目指す考え方である。後者は、サイクル工程と作業チームがセットで工区を移動することで、単一プロジェクトが独立した並行進捗する状態をつくり、その一方で、習熟効果に期待して工数低減を目指す考え方である。

このように計画手法の研究が増加する一方で、管理手法の研究は、1970年代の初頭にS字曲線を応用した管理手法に対する数学的な結論<sup>12</sup>がなされた後に鳴りを潜めた。実態調査については、プレキャストコンクリートやプレファブ住宅の制作工程、木軸在来工法の建方、内装工程における多能工方式と専門工方式の比較など、その対象が多様化した。また、1950年代に主流であった労務工数の分析から作業時間の分析へと研究の関心が移りつつある。

表1 MACの例

作業チーム	クレーン	大工			鉄筋工	応援
		壁型枠	ユニット型枠	開口先付		
人数	1	9	4	2	4	
1日	外壁大パネル移動・取付け	外壁大パネル移動・取付け		開口補強枠脱型	壁・鉄筋組	梁出し(大工2人)
	内壁パネル移動	内壁パネル移動				
	SMシヨア移動	SMシヨア移動				
2日	ベランダシヨア移動	ベランダシヨア移動	揚重準備	SD・ALW	壁・鉄筋組	
	SD・ALW					
	BU配置					
3日	ハーフスラブ取付け	廊下・ベランダ型枠建込	SD・ALW型枠取付け	ハーフスラブ取付け	先組鉄筋建方	
	先組鉄筋建方					
4日	C工区使用日	足場			壁・鉄筋ジョイント	床配筋工(鉄筋工2名)
5日	壁コンクリート打設	壁コンクリート打設	床コンクリート止め型枠	SD・ALW型枠取付け	手摺配筋	
6日	床コンクリート打設	壁型枠脱型			壁・鉄筋組	床コーン打設(左官10名)

6 一般的にPERT/CPMは単一のプロジェクト(工程のまとまり)を対象としているが、実際の工事現場では、複数のプロジェクトが並行して進捗しており、かつ各プロジェクトを構成する作業が相互に依存関係を持っているとする問題。

## 2) 1980年代

1980年代の計画手法に関する研究は、1970年代に始まった、スケジューリングを主体とした分野と繰り返し工程に関する分野で、大学の研究者を中心に理論が精緻化されていく。

前者は、電子計算機を用いた工程計画自動作成のアルゴリズム研究から、汎用シミュレーション言語を用いた工程計画支援プログラム、知識データベースに基づいて推論を行うエキスパートシステムの研究へと進展する。

エキスパートシステムとは、専門化の知識を「もし～ならば、…をする」という論法を、if（条件）-then（動作）の判断ルールとして記述し、それを知識データベースに蓄えておく。そして、推論エンジンが、ある入力内容に対してあらかじめ指定されたシナリオに応じて知識データベースから入力内容と条件が一致するルールを選択して実行し、実行結果が新たな入力内容となる仕組みである。

この仕組みの要点は、計画立案に関する知識と工事方法・順序・資源の種類と数量・歩掛りなどの工事技術に関する知識を、各々適した形式でデータベース化することである<sup>13)</sup>。嘉納は<sup>14)</sup>、工事技術に関する知識のデータベース化について、特定の作業に関連づけられる空間・材料・部位・作業チームをグラフ形式で構造化した「工事グラフ」を提案した（図4）。これらの工程計画支援プログラムの研究は、部位や部品といった「もの」の流れを対象とし、ゼネコンの工事計画者の知識に基づいたトップダウン的な工程計画の研究と位置づけられる。

後者の方向性は、MACが想定していなかった、多工区同時進捗の問題を扱っている。延べ人員が同じならば、単純な繰り返し工程よりも多工区同時進捗の方が、全体工期が劇的に短縮される。具体には、図5に示すように、サイクル工程を分割した工程Aと工程Bがあった場合、工程Aと工程Bを同時に施工する際のスケジューリングや作業チーム編成に対する研究である。

一つの解法は、ラインバランシング問題を適用

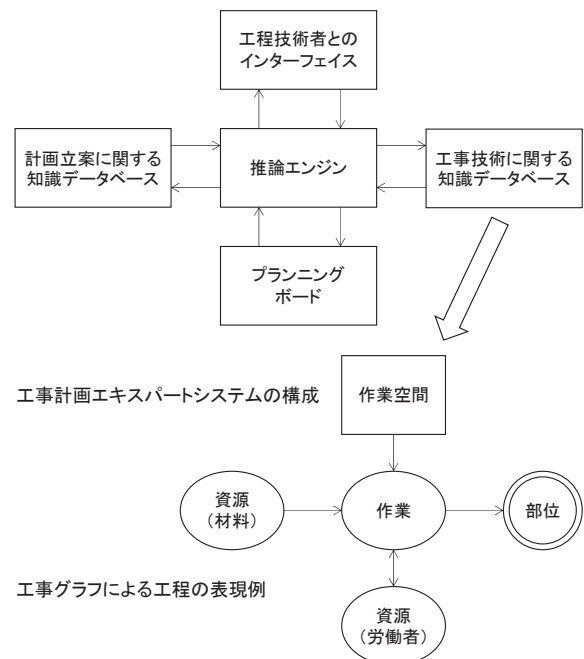


図4 エキスパートシステムの構造

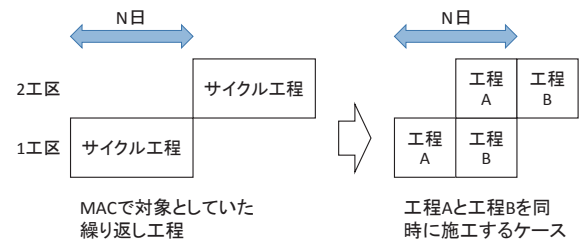


図5 多工区同期進捗のイメージ

した計画手法で<sup>7)</sup>、職種毎に各工程のラインバランスを考慮しながら先行関係のある作業を優先してその先頭から順に作業を割り付ける<sup>15)</sup>。この時、作業時間と待ち時間の合計がサイクル工期を超える職種は、工程A（作業ステーションA）と工程B（作業ステーションB）を担当する作業チームに分割する。つまり、作業ステーションと作業チームが対の関係にあることを基本とする。この計画手法で得られた工程の効率性、手待ち時間や作業が割り付けられていない時間＝バランロス<sup>16)</sup>の大きさを評価する。

もう一つは、多工区同期化工法と呼ばれる計画

7) JISZ8141「生産管理用語」によれば、「生産ラインの各作業ステーションに割り付ける作業量を均等化する手法」で、単一品種組立ラインのバランシングと混品種組立ラインのバランシングがある。参考文献15では、前者の考え方をMACに適用する検討を行った。

手法である。この手法は、複数に分割した工区（サイト工区）の全てが同時進行する状態で、作業チームがフル稼働することを前提としてチーム編成やチームの人数を計算し、サイクル工程の分節（ジョブ工区）を導き出す<sup>16)</sup>。したがって、技能者は繰り返し日数内において複数のジョブ工区を移動しながら作業をし、ジョブ工区はサイト工区を移動するように割り付けられる。

これらの研究は、作業チームや技能者の行動から工程を作り上げるボトムアップ的な手法と位置づけられる。

この時期における管理手法の研究は、MAC、工程シミュレーション、多工区同期化工法の研究者らが計画手法の延長で実施した事例が多い。実態調査の分類は、戸建て木造住宅に関するものが約65%を占め、その内容も、在来構法や枠組壁構法、更には構造材の加工・組立て、内装や基礎工事まで広範囲に及ぶ。戸建て住宅以外では、超高層集合住宅における工程計画・管理の実態を明らかにしようとするテーマが取り上げられている。

#### (4) 成熟期（1990年代以降）

##### 1) 1990年代

1990年代の計画手法を対象とした文献は、これまでと異なる様相で二つの方向性に分類できる。一つの方向性は、企業の研究者を中心に執筆されたもので、計画手法の新規性や発展よりも、業務のOA（Office Automation）化に主眼を置いたソフトウェア開発である。表2は、データセットの文献をソフトウェア開発とそれ以外に分類して集計したものである。ソフトウェア開発が占める割合は、1990年代で40%に達し、2000年代以降は半数を占める。この傾向の背景として、1980年代後半からパーソナルコンピュータが普及し、それを大学時代に学んだ人材が企業で活躍し始めたことや、1990年中盤からパソコンが広く建設現場に常設されたことが挙げられる。

もう一つの方向性は、従来の研究の延長線上にあり、PERT/CPMに基づく工程計画アルゴリズムやMACを発展させた繰り返し型工程計画手法

表2 ソフトウェア開発の推移

分類		1970年代	1980年代	1990年代	2000年代	2010年代	総計
実態調査	下記以外の研究	16	17	21	40	15	129
	ソフトウェア開発				3	1	4
	小計	16	17	21	43	16	133
管理手法	下記以外の研究	7	4	5	5	3	56
	ソフトウェア開発	2	5	10	16	1	34
	小計	9	9	15	21	4	90
計画手法	下記以外の研究	25	32	51	32	12	155
	ソフトウェア開発	4	10	35	32	15	96
	小計	29	42	86	64	27	251
総数		54	68	122	128	47	474

の改良で、詳細工程計画、コスト縮減、労務平準化、労務工数削減など、多様な現実問題への解答を目的に深化していく研究群である。この分野でもパソコンを利用した研究が多く、大規模データベース、オブジェクト指向モデル、ファジー理論、遺伝型アルゴリズムなど、多彩な情報理論が応用される。

管理手法の研究もソフトウェア開発が約70%を占めている。そもそも、管理手法の研究は、1970年代から文献数の増加が低調で、計画手法や実態調査と比較して、研究対象としての関心が低い可能性がある。実態調査の研究は、戸建て住宅－それ以外、住宅－非住宅、躯体－内装を問わず、工数や施工組織に関する調査が広く行われている。

##### 2) 2000年代～現在

2000年代に入り、計画手法の研究は多種多様な動きを見せ始める。第一に、これまで建築学会を主体としていた研究発表の場は、土木学会、プロジェクトマネジメント学会、精密工学会などへと広がっていく。第二に、制約条件の理論<sup>8)</sup>、リスクマネジメント、スケジューリング問題など、建設産業以外で発展した考え方が積極的に導入される。第三に、ソフトウェア開発において、VR（Virtual Reality）や3D-CADを駆使した可視化技術、携帯情報端末（PDA：Personal Digital

8 「Theory Of Constraints」の略で、TOCとも呼ばれる経営改善の理論である。その手法を要約すれば、現金を生み出す速度の指標であるスループットの最大化を目的に、次に述べる「改善の五つのステップ」を実践することである<sup>23)</sup>。

- ①制約条件を見つけ
- ②制約条件を徹底的に活用し
- ③制約条件以外を制約条件に従わせ
- ④制約条件の能力を向上させ
- ⑤惰性に注意しながらこのプロセスを繰り返す

Assistant) や近距離無線通信 (RFID : Radio Frequency Identifier) を利用したユビキタス技術<sup>9</sup>の利用が広がる。加えて、データセットの限りでは、1990年代までの研究からの一貫性が途絶えたように見えるのが2000年代の特徴である。その要因として、これまで工程計画手法の研究を先導してきた大学研究者の関心が、発注方式や標準約款、それらの国際比較など、プロジェクトマネジメントの研究に移ったことが考えられる。

続く2010年代は、2016年初頭時点で10年間の半分が過ぎたところである。データセットの限りでは、嘉納ら<sup>17)</sup>による工程シミュレーションとBIM (Building Information Modeling) の融合、筆者ら<sup>18)19)</sup>による多工区同期化工法の発展形やエージェントベースモデリング<sup>10</sup>を応用した工程進捗シミュレーションの研究で、計画手法の文献が二分されている。2009年からBIMの普及が目覚ましいにもかかわらず、企業の研究者によるソフトウェアの研究開発が少ないことも指摘できる。

管理手法の文献数が急減する一方で、実態調査の文献数は、1990年代から倍増する。その背景として、1990年に刊行された日本建築学会「作業能率測定指針」で、工数調査の標準的な方法が明示されたことの影響を推察できる。

#### 4 考察

以上、1950年代から60年にわたる工程マネジメントに関する研究の経緯を概観した。その動向を簡潔にまとめると、次のようになる。

- 1) 計画手法はPERT/CPMを基盤としつつ、より細かな要素作業のスケジューリングへと発展した。
- 2) 管理手法の研究は、1960年代まで工程マネジメント研究の主流を形成していたが、この半世

9 ユビキタス (ubiquitous) とは「同時にどこにでも存在する」ことを意味する英語の形容詞。

10 主体性を持つエージェントの集団が多様な意思決定基準や行動ルールに応じた自律的な活動をシミュレーションし、その結果を制約条件や評価指標に基づいて分析することを狙いとした、社会システムを分析するためのモデリング手法。

紀は研究の関心の中心から外れている。

3) 実態調査に関する研究はコンスタントに行われているが、特定のテーマを長期的に観測している事例はない。

4) 企業研究者による研究発表の文献は、ソフトウェア開発に偏重している。

これらの動向から、次の示唆を得られる。

第一に、計画手法・管理手法・実態調査の3分野を一体的に研究することの重要性である。仮に、工程計画に要素作業の作業時間を用いていて、日々の労務管理を日報で行っているとする。すると計画のデータと実施のデータを直接比較できないため、実施データで異常を察知したとしても問題の特定が容易でない。つまり、図6のように、実施の状態を評価して、次のアクションにフィードバックするPDCAサイクルを回すことが難しくなる。そのためには、計画と実施のデータを一致させる必要があるが、この半世紀における工程マネジメントの研究は、計画手法と実態調査に偏重して行われてきた感が否めない。労働生産性の向上は、トヨタ生産方式を見るまでもなく、継続的な改善とその積み重ねが肝要である。計画手法と実態調査の間を結び付ける管理手法の研究に、もう少し光が当てられてもよい。

第二に、実務者が研究に参加することの重要性が挙げられる。誤解を恐れずに言えば、1990年代における実務者のソフトウェア開発は、実務の経験や業務のプログラム化と言い換えられる。こう

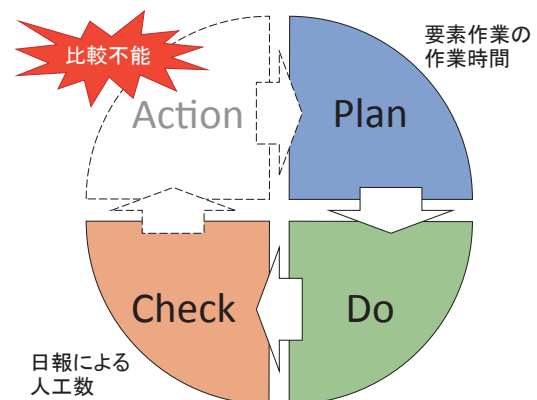


図6 工程マネジメントにおける課題

した開発は、業務の効率化など、実務の役に立つことを目的に実施されたと推察するが、工程マネジメントの理論的な発展への寄与がどれだけあったか疑問が残る。こうした直接的な利益の追求より寧ろ、理論研究の成果を応用し、実践と理論の広範な往来をすることが、投入資源・生産性・トータルコストのバランスと工期短縮とが融合した工程マネジメントのイノベーションに繋がると思われる。1970年代後半から80年代にかけて発展した、PERT/CPMの拡張、MAC、ラインバランシング、多工区同期化工法などの研究は、大学研究者による理論研究と、実務者を主体とした実態調査や実施検証が、少なからず結びついていた。それらの一部は、現在でも企業で実践されている。

以上を総括すれば、建設現場の生産性改善に向けて、現場の作業と対応した工程マネジメントのあり方を、建設現場というフィールドで、大学研究者と実務者が共同で継続的に研究する環境を創出することの重要性を指摘できる。その実践には、計画手法・管理手法・実態調査などの調査研究を、ゼネコン・技能者・研究者が共同で取り組むことに対する経営者や行政の理解が必要である。

以上のような問題は、竹田米吉が100年前に著した、計画手法・管理手法・実態調査を一体的に捉えた研究にも類似点を見出すことができる。つまり、工程マネジメント手法の研究は、テクニカルな面では発展したが、建設現場の生産性を改善しようという本質的な問題に対する解決が、一世紀を経た現代もさほど進展していないように思われる。確かに、建設現場の生産性改善を目的とした工程マネジメント研究の意義は、建設技能者の賃金を積み上げる建設コストの考え方でなければ薄れるし、技能者の残業や休日作業に対する手当にも着目する必要があるだろう。更に、建設現場で研究成果を実践するためには、ゼネコンの技術者と建設技能者が共同で、工程改善を長期的に試行錯誤できるように、技能者の雇用のあり方を再考する必要性も指摘できる。

## 5 今後の展望

最後に、今後の工程マネジメント研究に対する展望を述べたい。現在、筆者の関心は、プレキャストコンクリートや鉄骨、あるいはCLT (Cross Laminated Timber)などを構造部材とした、組立て型の建築における工程マネジメントのあり方にある<sup>20)</sup>。このタイプの建築の工数調査から分かってきたことは、組立て型建築の標準労務工数は、従来の歩掛りのような考え方ではなく、一つの部材を取り付ける時間を対象とする方が適しているということである。例えば、クレーンで揚重して取り付ける部材は、その重量や体積が大きく違っていても、取付け時間や所要人数に差が生じない。

したがって、個々の部材の取り付け時間のデータがあれば、構工法計画と部材割り付けが完了した時点で、躯体工事の工期や労務工数を高い精度でシミュレーションできる。これは、BIMにおける5D (3D+時間軸+コスト) マネジメントとの相性が良いし、建設技能者不足への対応として期待されるプレファブリケーション推進の時流とも合致する。

管理手法について言えば、この数年でモバイル環境が発展し、情報収集の手法や技術が格段に進歩した。現場における作業の開始-終了の情報を作業員別に記録する仕組みは、容易に構築できるはずである。リアルタイムで蓄積される、場所・作業・時間のデータは、BIMを活用した管理手法に応用できる。例えば、部材の取り付け開始-完了の情報をBIMにフィードバックして、BIMで計画した工程と比較すれば、生産性分析に裏付けられたきめ細やかなマネジメントが可能になる。あるいは、BIMに収集された所要時間の情報を空間的に見ることによって、技能者自身による改善の気づきを促すことが容易になると思われる。

このようなマネジメントの実現には、計画手法・管理手法・実態調査の一連の研究を繰り返すことに加え、部位ではなく部材でBIMモデルを構



築するような、ソフトウェア側の改善も必要である。ここにも、様々な関係者が共同で研究を推進することの意義を見出すことができよう。

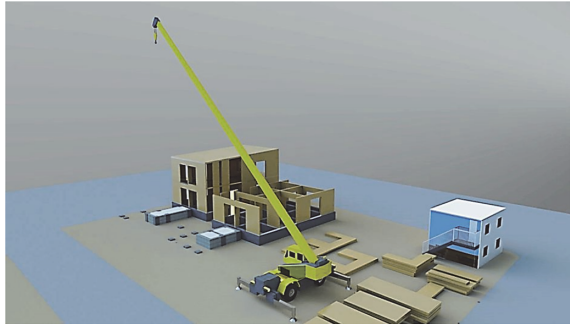


図7 BIMを用いたCLT建築の施工計画

## 6 まとめ

本稿では、CiNiiの検索結果を拠り所にして、我が国における工程マネジメントに関する研究の発展の経緯を辿ってきた。これまでの工程マネジメントに関する研究の目的は、多くの場合で計画手法の理論の探求にあった。

建築産業の生産性は、個別最適の積み重ねだけでなく、プロジェクト全体の効率を改善することで大きく向上する。本稿では、これからの研究のあり方として、計画手法・管理手法・実態調査などの調査研究を、ゼネコン・技能者・研究者が共同で取り組むことの必要性を指摘した。

最後に指摘を付け加えるならば、適正工期とは何かを理論的に探究する必要があるだろう。本来、工期とは、投入資源・その労働生産性・トータルコストのバランスで決定され、唯一絶対の解を持っていない。それらの項目は、発注・契約方式、設計における施工性、技能者雇用のあり方など、多様な事象の影響を受ける。このような複雑な問題を、関係者が協力して検討するための道具としてBIMを位置づけることができると筆者は考えている。

(参考文献)

- 1) 初田亨「職人たちの西洋建築」講談社選書メチエ, 1997
- 2) 竹田米吉「工程表と日誌とに就て」建築雑誌30(360), 754-759, 1916
- 3) 亀田泰弘, 篠沢清見「現場打コンクリートアパートの工程工期と現場労務工数」日本建築学会研究報告(0), 245-248, 1951
- 4) 笹間一夫, 小畑寿郎「建築工事の工程管理に関する研究(6): 出面表の解析とその応用」日本建築学会研究報告(33-1), 69-70, 1955
- 5) 日本建築学会「建築工事における工程の計画と管理指針・同解説(2004年改訂版)」日本建築学会, 2004
- 6) 小西嘉夫「建築工事における工程の合理化(計画手法の合理化特集)」建築雑誌80(954), 295-298, 1965
- 7) 平石秀寿「新しい工程管理について」農業土木学会誌33(9), 393-394, 1965
- 8) 江口禎, 椎名博美「簡単化したPERTによる工程計画シミュレーション」大会学術講演梗概集.計画系, 123-124, 1974
- 9) 田村恭, 嘉納成男, 田中重貴「建設工事システムの研究4: 作業工程計画の最適化に関して」研究報告集. 構造系, 101-104, 1974
- 10) 松本信二, 三根直人, 内山義次「建設工事における作業計画方法に関する研究: その1~3」学術講演梗概集.構造系, 361-366, 1979
- 11) 松本信二, 三根直人, 内山義次「建築施工における作業計画方法に関する研究」日本建築学会計画系論文報告集(380), 112-118, 1980
- 12) 伊藤仁郎「C.B.C.方式工程管理について(その1~3)」学術研究発表会梗概集.計画系, 257-268, 1971
- 13) 田村恭, 嘉納成男, 湯浅洋一「工程計画エキスパートシステムの基本構造」学術講演梗概集.F, 709-710, 1987
- 14) 嘉納成男「工程計画における推論プロセス」学術講演梗概集.F, 631-632, 1988
- 15) 古阪秀三, 古川修, 紀乃元「施工計画とラインバランス」第2回建築生産と管理技術シンポジウム, 49-52, 1986
- 16) 安藤正雄, 崔民権, 浦江真人, 成田道紀「多工期同期化工法に関する研究: その1 同期化および工期分割の効果と限界」学術講演梗概集.構造系, 475-476, 1983
- 17) 渡辺文志朗, 嘉納成男, 石田航星「3次元CADモデルを利用した作業工程シミュレーションに関する研究: 建築情報を活用した作業工程計画システム」日本建築学会関東支部研究報告集82(II), 513-516, 2012
- 18) 志手一哉, 安藤正雄, 浦江真人, 蟹澤宏剛, 本田裕貴, 染谷俊介, 田澤周平「高層集合住宅の内装・設備工事における多工期同期化工程計画手法」, 日本建築学会計画系論文集 78(683), 193-201, 2013
- 19) 市川学, 出口弘, 田澤周平, 志手一哉「ABMを用いた集合住宅内装工事モデルの構築」コンピュータソフトウェア31(3), 361-364, 2014
- 20) 林見士, 志手一哉「組み立て建築の施工における計画指標の考察」日本建築学会大会(関東)学術講演梗概集.建築社会システム, 151-152, 2015
- 21) 加藤昭吉「計画の科学 どこでも使えるPERT・CPM」, 講談社, 1965
- 22) Curtis R. Cook (著), 中西全二 (監訳)『実務で役立つプロジェクトマネジメント』翔泳社, 2006
- 23) エリヤフ・ゴールドトラッド (著), 三本木亮 (訳)『ザ・ゴール—企業の究極の目的とは何か』, ダイヤモンド社, 2001