Simulationによる PERTの実験について

福岡大学工学部　吉田信夫
福岡県土木部　篠原熊二郎

1. まえがき

新らしい工事管理の手法として、PERT、CPMが米国で開発されて以来、日本の建設会社でもある会社等はその準備期間から実施えの段階になっている。最近の土木工事はその規模の増大とともに、工事の内容についてもその多様性をまし、計画と管理の面でのマッシブ・エンジニアリングの必要性が次才に痛感されつつある。そのための管理工学の動向は、従来から考えられていた組織の細分化 分权化を考慮しての上から下えの top down approach から、才一線の夫々の現場担当者の力を協力体制え動員する bottom up approach え移行しつつある。PERTそれ自身のアルゴリズムは簡単であるが、いずれにしても bottom up approach がなければ、PERTに用いる in put data の情報量が充分でなくなり、その効果も少くなくなる。

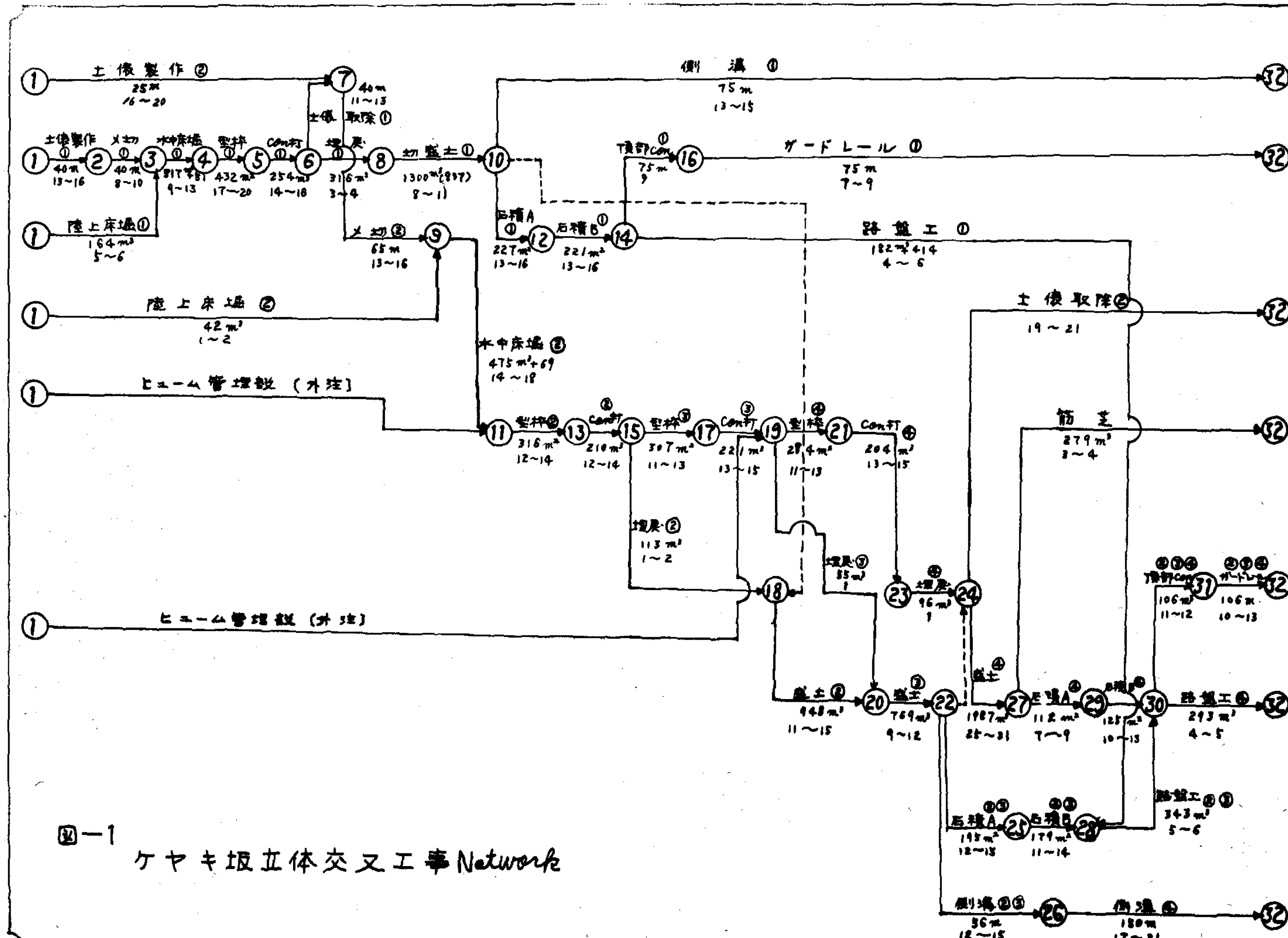
一方、マッシブ・エンジニアリングにおいては、Network 又は System の信頼性が問題になる。例えば Project の Network について夫々の Activity の Duration の出現確率が 0.99 の確率をもっていても、Activity の数が100程度になれば、$0.99^{100} \fallingdotseq 0.36$ となり、Σ Duration の達成確率は 0.36 程度しか期待出来なくなる。

従来のPERTにおいては、その時間見積りの方法として、夫々のActivityのDurationの確率密度函数をベーター函数とみなして、その代表値、楽観値、最可能値、悲観値を夫々 a、m、b での三点見積法を採用していた。然しこの方法では、① ActivityのDurationの出現確率分布をベーター分布とみなしたために生じる誤差、② ベーター分布であったとしても、a、m、b をもちいた近似計算のために生じる誤差、等のために普通でも5~10%の誤差は避けられず、ひどい場合には15~30%の誤差を生じると報告されている。

これに対して、Simulation による実験をおこなえば、夫々のActivityのDurationの出現確率の分布がどのような分布になっていようとも、その分布をそのまま用いて、Projectの Σ Durationを近似的に求める事ができる。その基礎的準備段階として、出現確率が一様分布とした時の実験結果について報告するものである。

2. 対象としたProject

Simulationの対象とした工事は、福岡県土木部道路建設課の資料にもとずき、田川土木事務所所管の昭和38年度施工の道路付替工事の一部である。同工事は小倉~日田線の香春~採銅所間に施工されたものであり、この中の才II工区をとりあげた。なをNetworkを作製上、更に締切り工①、締切り工②で2区間に分け、夫々の作業を分割した。工種の中には、ヒューム管埋設工事が2箇所あるがCritical Pathにはいらないものと考え、外注工事と



図—1
ケヤキ坂立体交又工事Network

仮定しているので実際と若干異なる点がある。なを歩掛り等については県の設計書を参考にしているがある程度修正した部分もある。

同工事の作業＝Activityを Network化したものが図－1である。同図の中には、各作業名と工程数量、工程日数の上限、下限が示してある。ここで夫々の作業は細分化すればする程、工期＝Durationの時間見積りは正確になるが計算量が膨大になるので作業数を一応50程度に制限した。又夫々の作業の確率分布は現場担当者の話を聞くまでもなく、種々の分布に従がうのは明らかであるが PERT以前の段階である資料の整理が困難であるので、一様分布するものとした。このように仮定しても Activityの数、実験回数が大きくなれば Project 全体の工期は正規分布に収斂することは明らかである。もし他の分布に従がうことになれば、夫々の確率密度函数を分布(累積)函数になおし、その分布軸上で一様乱数を発生させると夫々独立に夫々の分布に従がうことになる。

ここでの Simulation は分布が一様分布であるから乱数サイを使用した。

3 PERTのアルゴリズム

3-1. Event i の最早開始時刻を t_i^E とすれば

$$t_0^E = 0$$

$$t_i^E = \max_{(k,i)\in P}\left[t_k^E + T_{ki}\right] \qquad i = 1, 2 \cdots\cdots n$$

T_{ki} = Activity (k,i) の所要時間

3-2. Event j の最遅開始時間 t_j^L とすれば

$$t_n^L = \lambda$$

$$t_j^L = \min_{(j,k)\in P}\left[t_k^L - T_{jk}\right] \qquad j = n-1,\ n-2,\ \cdots\cdots 0$$

4. Simulationによる実験結果

今回の実験については、Floatの問題、日程短縮の問題、Time/Costの問題、Man schedulingの問題等は考慮していない。Simulationの n=10，20，30．40．60．150 までの結果を示せば表－1の如くなる。

表－1　実験回数による平均と分散の変化

実験回数	n=10	n=20	n=30	n=40	n=50	n=150
標本平均	261.9	261.9	261.4	260.7	260.7	260.6
標本分散	31.1	24.1	29.6	35.4	30.3	25.7

夫々について 95％の信頼限界で母平均と母分散の推定をすれば表－2の如くなる。なを夫々の Activityの平均と分散から中心極限の定理を用いて、Project 全体の工程日数の母平均と母分散の値を算出すると $\mu = 260.0$，$\sigma^2 = (4.6)^2$ となる。この値を表－2の推定値と較らべれば n = 150 程度の実験を実施すれば母平均，母分散にほとんど一致する事を示

している。

表－2　実験回数による推定値

	母平均の推定	母分散の推定
$n=10$	$257.7 \leqq \mu \leqq 266.1$	$(4.0)^2 \leqq \sigma^2 \leqq (10.7)^2$
$n=20$	$259.5 \leqq \mu \leqq 264.3$	$(3.8)^2 \leqq \sigma^2 \leqq (7.4)^2$
$n=30$	$259.3 \leqq \mu \leqq 263.5$	$(4.4)^2 \leqq \sigma^2 \leqq (7.4)^2$
$n=40$	$258.7 \leqq \mu \leqq 262.6$	$(5.5)^2 \leqq \sigma^2 \leqq (7.4)^2$
$n=60$	$259.3 \leqq \mu \leqq 262.1$	$(4.7)^2 \leqq \sigma^2 \leqq (7.6)^2$
$n=150$	$260.0 \leqq \mu \leqq 261.6$	$(4.6)^2 \leqq \sigma^2 \leqq (5.7)^2$

なを $n=150$ についての理論値と実験値を図－2に示す。実験に要した時間は Network の作製に必要な Topological Ordering に2時間程度．Simulation には1日程度で充分である。

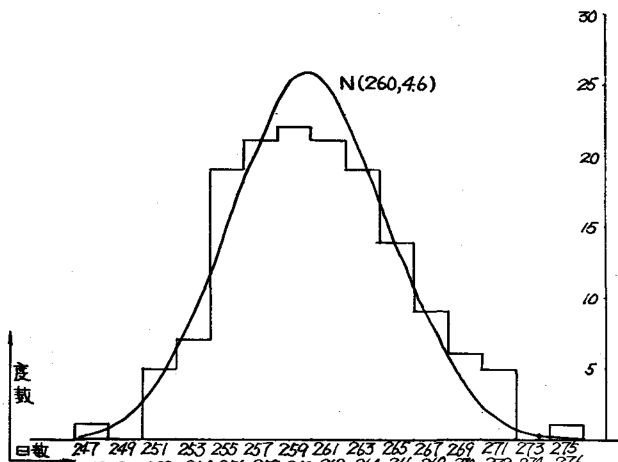


図-2　理論曲線とN=150の実験値との比較．

5．あとがき．

Simulation による PERT の実験は同規模の現場実験を机上で再現することであるから bottom up approach の手段としては最適のものである．その理由の1つは Project の Network の作製にあたり現場担当者が直接 Planning に参加出来 Project えの参加意識を強めることができる．又 Simulation は難解な数式を必要としないから現場担当者に実験をやらせても理解が容易である．又図－2の如く直接目で見ることができる。

今回の実験は4にあげた諸問題を考慮していないので，今後これらの制約条件を含んだ検討を Critical index とともにおこなう予定である．

なを前記の工事の Network は福岡県土木部道路建設課の御厚意により福岡大学土木工学科の管理工学の講義教材として借用したものである．又 Simulation の実験に際しては県土木部道路建設課の野正技師，木下技師の適切な助言と土木工学科森岡助手の協力に謝意を表する。

参考文献　Thomas. L. Healy "Activity Subdivision and PERT. Probability STatement" (JORSA)

D.G. Malcon. J.H. Rosenboon. G.E. Clark "Application of a Technique for Research and Development Program Evaluation" (JORSA)

James. E. Kelley　Critical-Path Planning and Scheduling Mathematical Basis (JORSA)