

2章

Part I

要求：構造物からシステムまで

2章 目的, 制約, 必要性, 優先順位

は変化の方向,

モノを作る人の目的は最良の新しい構造物を作り出すことにある。対照的に、管理する人は、その時点で支配的な基準 Standard ~~???~~ に従って、既存の構造物を最大限活用しなければならない。構造物が概念から施設に姿を変えるにしたがって、設計者の視点よりは、管理者の視点が重要になる。にもかかわらず、これら分岐発散する視点は Newmark and Rosenblueth (1971, 443 頁) によって定義された「いかなる目的的な行動でも、その目標は成果を最適化することにある。…工学的設計の目的は、産み出されたシステムから得られる効用を最大化することにある (原文も斜体).」という工学の一般的な目的と矛盾するものではない。

Von Neumann and Morgenstern (1964, 1.9 節) は、制約の下で効用を最大化することを最適化と定義した。Diwekar (2003) は、John Bernoulli (1654-1705) をもって厳密な最適化の嚆矢とした。Heyman (1996) は James (1667-1748) と Daniel Bernoulli (1700-1782) の構造解析への貢献を詳述した。Daniel Bernoulli の後押しを受けて、Euler は自分の変分法を弾性変形問題に適用し、1744 年に「elastica エラスティカ (elastica) ???」を得た。旧約聖書第箴言 11 章 1 節 (本書 1.8 節) の精神で、Euler は神は平衡を好むのみならず、それを最大化すると信じた。「宇宙の構成は最も完全であり、最も賢明な創造者の作品であるため、宇宙では最大か最小の形で現れないものはない。」

力学的なシステムはポテンシャルエネルギーが最小となる形を取る。もっと広く言えば、現在の交通社会基盤システムは、過去 150 年に渡り技術者と管理者を駆り立ててきた変化し続ける需要と供給によりその姿が形作られている。

工学的な行為が物理的にのみならず社会的領域においてもますます最適化されているため、かつては絶対的だった制約と目的が交換可能で交渉可能になっている。この変遷は 図 1.33a と 1.33b に図解されている。

おぬね

わかりにくい



2.1 節 効用の最大化

意味がつかぬ

橋梁工学は、多かれ少なかれ不断に、交通モード、材料の利用可能性、労働コスト、社会的・文化的要求の変化に応じている。蒸気機関の出現以来、橋梁は次の進化を経験して



きた。

19 世紀の、木、鉄そして鋼構造の上を走る鉄道

20 世紀の、鋼、コンクリート橋の上を走る車両交通、列車交通、もしくはこれらの併用

21 世紀初頭の、新しい構造形式と材料の上を走る高速な列車と自動車

最大支間長は、1889 年の Forth カンチレバートラス鉄道橋の 2 連 521m から、1998 年の自動車用吊橋である明石海峡大橋の 1991m まで伸びた。設計中のものとして、Messina 海峡に 3.3km の支間長を持つ道路鉄道併用の吊橋がある。

鉄道橋は AREMA (当初は AREA) により基準が定められており、1905 年に最初の基準が出版された。AASHTO は 1921 年に (AASHO として) 設立され、最初の基準は 1931 年に出版された。

AASHTO (1999a) は、以下のように始まっている。「高速道路局が 20 世紀前半に初めて組織されたときは、建設のための機関だと見られていた。設計には小さな責任しかなかった。」

ニューヨーク市の橋梁建設史を事例 1 に簡潔に明らかにしたが、建設史は、都市の交通需要に応じて、質的にも量的にも拡大していく様を説明している。国全体の傾向も同様である。21 世紀を迎えたとき、おおよそ 65 万の自動車用の橋梁とカルバート (付録 11)、10 万 1 千の鉄道橋、そして同じくらいの数の歩道橋が米国にはあった。

急速な交通網の拡大の早期には、材料と労働コストの算定と建設実務 Practice?? が主要な関心事であった。Waddeal (1916) は、彼の包括的な著書である *Bridge Engineering* の第 1 巻を設計 (主として鉄道トラス橋) にあて、第 2 巻を施工、施工コスト算定、最適化にあてた。

材料と施工法についての個人的な好みと、実用的な考慮とが同程度で、今日の社会基盤を形作った。Steinman (1909) は彼のコロンビア大学での professional engineering dissertation?? 専門技術者論文で、ニューヨーク市ハーレム川にかかるヘンリー・ハドソン橋の提案として、鋼もしくはコンクリートアーチ橋の実現可能性について分析した。

これらのうち、彼は 1928 年に鋼固定アーチ橋のほうを完成している (図 E1.7)。Steinman (1949) の吊橋に関する教科書は、設計、施工、架設を同等に扱っている。

Steinman の吊橋支持の結論に対して、Waddell (1921, 13 章) は長支間鉄道橋へのカンチレバートラス橋の実現可能性を擁護した。しかしながら、鋼に対する彼の生涯の専念にもかかわらず、Waddell (1921, 66 頁) は「鋼橋と鉄筋コンクリート橋の相対的な経済性について確定的もしくは信頼できる結論を導くことは不可能」と考えた。

Lindenthal は Waddell の教科書を「多かれ少なかれ標準化された通常の支間長と形式の橋梁工学を対象とする限りでは価値が有り権威である」と考えた (Petroski, 1995, 200 頁)。

Waddell のゴースルズ橋 (図 2.1) と、Lindenthal のヘル・ゲート橋 (図 E1.4) やスミ

設計中

Practice??

か拡大の初期?

意味不明

に提せ

何?

ほ

としかたない

誰か?

当り? 今也?

スフィールド橋 (図 1.14) との比較は、20 世紀初頭には標準的な橋梁にもユニークな橋梁にも広範囲に豊富な機会があったことを示している。創造性には欠けてもよく考えられた設計が信頼を持って交通を支えたけれども、ユニークな構造物を着想させたりもした。

訳
工
夫
要

20 世紀を迎えたときの建設ブームで、設計者は耐久性という目的から反れることはなかった。 Boller (1885) は、彼の時代での維持管理の実務の下で、橋梁の寿命を延ばすであろう設計変更を提案した。Waddel (1921, 6 頁) は経済を「努力、金銭、材料の究極の最小費用で望む結果を得る科学」と定義し、経済分析を最初のコストに限定することに警告を加えた (付録 12)。彼は以下のように書いている (1921, 430 頁)。

図 2.1 ゴーサルズ橋, スタテン島, ニュージャージー。

必要か?

訳
工
夫
要

急速な劣化に対する橋梁の保全は、橋梁の適切な均整と建設を確保することと同じくらい重要な問題である—そう、もっと重要である。 というのも、もし所有者が鋼の構造物を錆の被害に対して効果的に保護することを軽視したならば、一体何が所有者に設計と建設の時に最大限の配慮をすることを義務付ける <誤植? behooveth→behooves> であろうか? 金属製橋梁の寿命は、科学的に設計され、誠実かつ注意深く建設され、著しく過大な荷重を受けず、そしてもし適切に維持管理されたならば、無限に長いものとなる。 しかし、もし不当に軽視されると、寿命はしばしばごく短いものとなる。特に、橋梁を走るもしくはくぐる蒸気機関車の煙に含まれるもののような、酸性のガスに曝される時である。

訳
工
夫
要

ライフサイクル・マネジメント方針を支持するより早期の議論にもかかわらず、Kohoutek (Ireson and Coombs, 1988, 3.7 頁) はライフサイクルコスト (LCC) の由来を 1960 年代初期になされた国防次官補直属の ??? **Logistics Management Institute of the Assistant Secretary of Defense** ??? による調査に尋ねた。付録 11 は当時からの米国における自動車用橋梁マネジメント史の節目を明らかにしている。

訳
工
夫
要

Highway Design Model (HDM) は 1981 年に世界銀行により開発され、現在でも **World Road Association** ??? (PIARC) の管理のもとで使われている。全米道路共同研究プログラム (NCHRP Synthesis 330, 2004) もまた、**U.S. Army Construction Engineering Research Laboratory** 米国陸軍建設工学研究所 ??? が **American Public Works Association** 米国公共事業協会 ??? (APWA) と協力して開発した **MicroPAVER** を引用した。NCHRP Report 285 (1986) は舗装と橋梁のためのライフサイクルコスト分析を推奨し、後者がより複雑であることも指摘した。

と云うこと
この形は現代の形のためか
どうなの?

道路は言わずと現代の橋梁マネジメントは道路での主要を占められているようである。 これは、なぜなら道路が、古い鉄道用構造物とは異なる、より最近の自動車用構造物であるし、いまだ成長を続ける交通モードを支えているからである。19 世紀以来の問題が落

?

訳
工
夫
要

ち着くことにより、鉄道橋マネジメントは表には出てこなくなった。にもかかわらず、その先例はいまだ関連性がある。

?

馬車から蒸気駆動の列車への交通の飛躍的な変化は、列車から内燃機関への変化よりもっと大胆であった。鉄道橋は疲労破壊(4.2.4節)と軌道狂いに大きく影響を受けやすい。鉄道橋の設計と維持管理の実務は有名な破局的事故によって影響を受けている。

HU?

マネジメント方針にとって重要となる橋梁の所有権は、重複する複数の高速道路経営においてよりも鉄道において明確である。鉄道はネットワークとして考えられるのみであるが、一方で自動車交通のネットワークと回廊のマネジメントは時々新たなこととして示される。

意味がつかぬ

路面と橋面の劣化は、鉄道橋の床梁の劣化に比べて、より緩やかで明らかである。自動車は活荷重を軽減し、幾何的な制約を緩和した。さらに、列車荷重はほぼ確定的であるが、車両荷重は統計的に推定されなければならない。車両、橋梁、そして多数の責任を有する所有者との間の相対的にファジーな相互作用が、多くの劣化モデル(9, 10章)と優先順位に基づいて、広範囲に渡るおそらく実現可能な維持管理とマネジメントの戦略(11, 12章)を可能にしてきた。自動車用橋梁のマネジメントを中世で実施したならば、現在の鉄道橋マネジメントのように、目立たないものになるだろうと思われる。高速鉄道や磁気浮上鉄道は人目を引くような次の新しい問題を生み出すかもしれない。

理解
= (くい
ひきぬ

14 (必要ですか?)

関係? あん

2.2節 目的の最適化

もし複数の橋梁がそれぞれ個別のプロジェクトと考えられるなら、それら橋梁の便益を最大化することは適切だろう。複雑な交通網の重要な結節点として、それらの便益は最適化される(それ以上ではない)。

? 単に up するということか?

Ang and Tang (1975, 12頁)は、「常に最悪の状態」を仮定することにより安全性が最大化されるかもしれないが、コストも最大化されると指摘した。著者らは、「最小のコストで最大の便益、もしくはそのいずれかのみ、という意味で、最適」となる解を得る手順を開発している(5.2節)。

か

制約と便益のいずれも容易に定量化はできないため、最適化は細部に至るまで厳密にはなりえない。最適化は、交通ネットワーク・レベルもしくは構造物プロジェクト・レベルの二つのマネジメント・レベルの間での主観的な相互作用を含むことになる。ネットワーク管理者は、交渉可能な規準の集まりに従って、利用可能な資金を配分しなければならない。プロジェクト・マネージャーは予算要求を正当化し、橋梁に関する行動を実施しなければならない。もし図 1.33a における二人の参加者が資産の効用を一方的に最適化したとすると、マネジメントは予算に焦点を合わせるであろうし、工学は構造物に合わせるであろう。相対売買や「ゲーム」でそうであるように、一方の目的は他方の制約となるであろう。金銭はしばしば効用の唯一の表現であり、同じ意味を全ての交渉者に伝える。金銭が

に示す

唯一適切な情報である極端な場合には、会計が重要な位置を担う。

対照的に、マネジメントが、サービスから構成されるであろう生産品を最適化しようとする時には、費用効率が高い工学的解決策を促す。Smallら (TRC498, 2000, A-1) はネットワーク・レベルと構造物レベルの橋梁マネジメント・システムの理念を「トップダウン」と「ボトムアップ」手法であると提起した。前者は方針を実行し、後者は支出を管理する。双方とも既存の基準に従う。

この数十年間で、大型車交通は台数でも重量でも増加してきた。一方で交通社会基盤ネットワークはより密になり、より古くなってきた。TRB (1990) は米国の高速道路における大型車荷重の継続的な変化を記述した。マネジメントの優先順位は新規建設から経年資産の便益を最大化することに徐々に移った。その間、科学、工学、そして社会一般は、デジタル計算機のおかげで新しいレベルの統合を達成した。もはや橋梁の効用は孤立のものとして最大化されるものではなく、橋梁設計者の力量の範囲内でもそうではない。 図 1.33a の需要と供給の関係は、図 1.33b に示されているように、より広い範囲の関心を含むように拡大されてきた。

事例 3 は都市環境下における複合用途で橋齢 90 歳の主要な橋梁を改修するか更新するかについての論争を明らかにしている (例えば、ニューヨーク市ウィリアムズバーグ橋)。サンフランシスコオークランド・イースト・ベイ橋 (1.5 節) の場合も同様に、構造的、経済的、政治的な考慮を統合している。

多くの意味深い変遷のように、新しいシステムの拡大から古くなるシステムの維持への優先順位の変化は、路面についてもっとも強く気づかされる。道路の路面は交通の測定可能な便益を与える。NCHRP Report 300 (1987, 1 頁) は、「橋梁マネジメントは普段どおりの仕事ではない。…橋梁マネジメントは比較的新しいコンセプトであり、これはシステム・コンセプトの舗装マネジメント機能への応用の成功から適合されたコンセプトである。」と述べた。

「普段どおりの仕事」からの注目すべき脱却として、ネットワークプランニング、先進的データ収集と処理が挙げられる。その意図は、オペレーション・リサーチにより厳密に定式化された最適化と一般実務としてのマネジメントを区別することにある。にもかかわらず、結果は、1.78 節に引用されている Drucker の一般的定義にあるように、橋梁マネジメントでないものの定義である。Beale (1988, 1 頁) は同様に、「オペレーション・リサーチが含むものを議論する前に、それを統計学と区別するのにすこし時間を取るだろう。」と強調した。

NCHRP Report 300 (1987), O'Connor and Hyman (1989), 経済協力開発機構 (OECD, 1992) は、橋梁マネジメントの手段と課題を定義し、潜在的な応用を述べている。

NCHRP Report 300 (1987) は橋梁マネジメントを以下のように (1 頁) まとめている。

目的は…ネットワーク・レベルで (つまり、単独の橋梁よりはむしろグループとして

の橋梁を扱う), 効果的な利用可能資金の使用を確実にし, 様々な資金調達レベルの影響を識別する, 効果的な橋梁マネジメントの形を開発することである. 橋梁マネジメントには…以前は問題解決に組み合わせて用いられなかった経済と技術の一連の道具をもってして, 実践的, 客観的, 体系的な問題の考慮が必要である. 特に, 橋梁マネジメントシステム (BMS) は, 交通社会基盤に重要な橋梁の計画, 設計, 施工, 維持管理, 改修, 更新に関連した行為の組織化と実行への, 合理的で体系的なアプローチである.

この点を越えて, 同 Report は BMS を論じている. OECD (1992, 14 頁) も同様の見方をしている.

橋梁マネジメントは, ある構造物の建設時点から更新までの全ての橋梁に関連した行為を扱う. 橋梁管理者は, 自分の仕事を効率的に実行することを可能にする機器を必要とし, 橋梁の機能性と安全性を最も経済的な方法で保証する. 個々のプロジェクトごとのアプローチの上に今までは築かれていた橋梁管理の手段を向上するために, 大規模となった既存の橋梁ストックと投下資本が, 加盟国をして橋梁マネジメントへの整然として費用効果の高いネットワーク・アプローチへと向かわせてきた. それゆえに, 橋梁マネジメント・システムは, 技術と組織の構造に関してのシステムの結果と要求を識別し明瞭にするガイドラインを管理者に与えるために開発されつつある.

上記の引用は橋梁マネジメントを定義する苦心を例証している. Von Neumann と Mongenstern のゲーム理論 (1.4 節) にあるように, 客観的で定量可能な手法の必要性が強調されている. 記述的な (最近の用語だと, 性能規定) 定義を支持し, 規範的な定義を避ける一貫した努力は明らかである. National Research Council (NRC) 米国学術研究会議 (NRC, 1994) や BRIME (2002) のような, 後の出版物は, 確立された橋梁マネジメント実務と BMS の供用記録について報告し, よって新しい経験的なデータを提供している.

NCHRP Report 300 (1987) は, 付録 13 に示されているように, ネットワーク・レベルで関連する行為のための決定支援を扱っている. Shirale ら <誤植 at al. → et al.> (Transportation Research Record (TRR) 423, 1994, 27-34 頁) は, 橋梁マネジメントがネットワーク・レベルと構造物レベルで必要とする決定支援能力を一覧にした. BRIME (2002) (図 16.5) にあるような, 6 節で議論されている幾つかの橋梁マネジメント・フローチャートは, 明確に構造物レベルとネットワーク・レベルの業務を区別している. ネットワーク・レベルのマネジメントはプロセス (例えば, 交通) を扱い, 一方で現地特有の作業業務 tasks はモノ (例えば, 構造物) を造らなければならない. 1.8 節では, 財務と橋梁の管理者の優先順位は相反するものではなく, むしろ相補的であるべきであると論じている. ネットワーク管理者は交通を要求し, 資金を供給する. 図 1.33a にあるように, 構造物レベルの技術者は資金を要求し, 構造性能を供給する.