

## 交通プロジェクトのマクロ・エンジニアリング

——民間主導による英仏海峡トンネル建設計画を中心に——

中川 學\*

マクロ・プロジェクトのコンセプト・エンジニアリングについて、提唱者フランク・P・デビッドソン博士の考え方を紹介し、その実践モデルといえる英仏海峡トンネル研究会（Channel Tunnel Study Group）の活動の軌跡を顧みることによって、民間主導の巨大プロジェクト組織方法への手がかりを探る。トンネルとリニアモーターカーを結合するプランネットラン計画の例により、ハイブリッドな連続的交通システム構築のための国際協力の必要性と可能性を論じて、コンセプト・エンジニアリングの重要性を説く。

### Macro-Engineering in a Traffic Project

——A Construction Plan of England-France Channel——

Manabu NAKAGAWA\*

Regarding the concept and engineering of the macroproject, this article presents an idea of Dr. P. Davidson, an advocate in its field, and also observes the locus of its applied model activities through Channel Tunnel Study Group, it would search a trace of methods for organizing a macroprojected by a private enterprise. It discussed the necessity and possibility of establishing an international cooperation to construct a continuous safety system by giving an example of planetran plan which connects the tunnel and linear motorcar. Further, it emphasized the importance of the concept engineering.

#### 1. マクロ・エンジニアリング

「マクロ・エンジニアリング」(Macro-Engineering)という概念は、1968年にマサチューセッツ工科大学のシステム・ダイナミクス学科運営委員長フランク・P・デビッドソン博士によって提唱された<sup>1)</sup>。その後、アメリカ、イギリス、カナダ、日本等の各国において研究が進み<sup>2-6)</sup>、「巨視的創造科学」と邦訳され<sup>7)</sup>、わが国における学会活動も芽生えてきた<sup>8)</sup>。

いわゆる巨大技術によって実現が可能となった宇宙や海洋の総合的利用や、都市の再開発と交通等のインフラストラクチャーの再編成が研究課題とされているが<sup>9)</sup>、一番大切なことは、コンセプトの問題である<sup>10)</sup>。

1985年、春、夏、冬の3回にわたり、デビッドソン博士と南フランスや北アメリカで意見交換を重ねてみて考えさせられた問題も、マクロ・エンジニア

リングの本質は、マクロ・プロジェクトに関するコンセプト・エンジニアリング (Concept-Engineering) なのだ、ということであった。この点、重要なのでデビッドソン博士自身の言葉を引用しておこう<sup>11)</sup>。

「マクロ・エンジニアリングとともに、コンセプト・エンジニアリング (概念工学) という考え方が広く行われなければならない、と思います。これは、だれのために、なぜ、どうやってつくっていくのか、実施後の影響はどのように現われてくるのか、ということ厳密に考える学問です。単に新しく発明された技術を適用していくということではなくて、技術を実用に移す前に、その目的、目標をはっきりさせようというものです。こうして、広く、深い検討を加えることによって、巨大技術の正しいかじ取りを目指していくべきでしょう」

#### 2. マクロ・コンセプトの原点

##### 2-1 概念工学と理念工学

マクロ・プロジェクトの具体例については、キャ

\* 一橋大学経済学部教授  
Professor, Hitotsubashi University  
原稿受理 昭和61年2月19日

スリン・マーフィー女史による統計分析<sup>12)</sup>をはじめ、一般読者を対象とする解説書<sup>13)</sup>もあるので、ここに列挙することは省略したい。

問題は、マクロ・コンセプトのとらえかたなのである。

コンセプトは、一般に「概念」と訳される。だからコンセプト・エンジニアリングといえば「概念工学」になるのは、当たらずといえども遠からず、なのであろう。しかし、これで本当にわかったという実感が湧くものであろうか。

概念的、というように、普遍的であるような、抽象的でもあるような、わかったようでわからない隔靴搔痒の印象が残る。われわれが問題にしているのは、きわめて具体的に現実的な「エンジニアリング」なのである。

エンジニアリングは、行動であり、実践である。そこには、達成すべき目的と目標があり、それを実現する詳細な設計が伴い、克服すべき複雑な制約条件が立ちほだかる。それらをトータルに視野に入れながら、臨機応変、相乗作用も生かしつつ実現に漕ぎつける営み。しかも、動きはじめた結果が、当初の設計段階での期待を上まわるくらいにビューティフルであることを求めて夢中になる、そういう人間活動の総体がマクロ・エンジニアリングであらう。

だとすれば、実現すべき価値目的と行動目標が、スタートの段階で明確な「理念」として煮詰められていなければならないであろう。そして、その理念を、最終的に日常の生活過程に組みこむための具体的な「工学」がなくてはなるまい。そういう意味では、コンセプト・エンジニアリングは「理念工学」とならざるをえないのである。

### 2-2 安全を求めて

それでは、人間生活にとって大事な価値目的であり、また、行動目標のひとつとされる「安全」とは、いったい何なのであろうか。

ヘルメットをかぶり、頑丈なアタッシュ・ケースを持てば、安全なのか。逆に、そういう道具の要らない状態が、安全なのか。どちらかといえば、西洋の近代的合理主義は、前者の考えかたに立ち、東洋の無為自然の発想は、後者の道を歩んできた。

歩行者の安全を、信号機やガードレールで確保するのは、自動車が危険性を帯びているという前提に発している。牛が通るときには人も車も立ちどまって見送ろう、というインド流儀は、牛を聖なる生き

ものとして尊ぶからであり、そのような人に牛が襲いかかることはないのである。自然と人間、動物とヒト、物と心、それらの一体感につつまれた相互作用のなかに安全を求めるのが「東洋的」であるとするならば、征服と防衛の分離された対立関係のなかで安全を確保しようとするのが「西洋的」なのかもしれない。

### 2-3 動かない自動車

もし、自動車が決して衝突できないように設計されたらどうであろう。人間や動物を感知して、轢きそうになったら自動的に停止する。停まる自動車。走らないクルマ。動かない乗り物。

人間や動物、植物や岩の前で、ツツッと踏みとどまり、頭を垂れる聖牛のような自動車ができれば、安全の権化といえる。そういうクルマづくりを行動目標とし、生産するならば、コンセプト・エンジニアリングの典型となるであろうし、巨大な需要が喚起され、マクロ・プロジェクトになる筈である。

すでに、「泳ぐ自動車」のコンセプトは、水陸両用車を生んだし、「車のない列車」はリニアモーターカーに結実している。センサー技術の先端水準を駆使して、複合システムを考案すれば、「動かない自動車」のコンセプト・エンジニアリングも時間の問題にすぎなくなると思われる。

## 3. プラネットランとスポーツ・ハイウェイ

### 3-1 連続システム

いま、「車のない列車」はリニアモーターカーだと無雑作に言ってしまったが、京谷好泰本部長の指揮する国鉄磁気浮上鉄道計画では、立派に車輪もついている。初期の加速時と終着の減速時には、普通の摩擦抵抗で、ガイドウェイを滑走する。もし、そのガイドウェイに、低速時の軌道や舗道が接続するように設計されれば、リニアモーターカーの在来鉄道や高速道路への乗り入れも可能となる<sup>6)</sup>。

設計のコンセプト次第では、ドア・ツー・ドアのリニアカプセルも夢ではなくなる。それもイン・ドアで、書斎カプセルがそのままリニアで玄関から滑り出し、往來をゴムタイヤで走り、高速ランプのような助走路に入って加速した後、長距離超高速ガイドウェイを飛び、やがて減速したら今度はゴムタイヤの内側の鉄輪で在来軌道に乗って地下鉄の駅に停まる。そんな連続システムも実現できよう。

### 3-2 分離思想を超えて

餅は餅屋、というのも美しいが、餅屋がハンバー

グを扱う時代になってきた。汽車は鉄道、自動車は道路、飛行機は滑走路、宇宙船は発射台、そういう区分は分離思想の産物であった。

科学の進歩のためには、合理主義にもとづく専門分化、ディシプリンの自律と区分、解析と分析、といった分離思想が大きく寄与したことを認めないわけにはいかない。しかし、その時代の峠を越えてみると、もう一度、総合と積分、未分離の実体への統一のアプローチの道が希求されるようになった。

スペースシャトルを支えたシステム・エンジニアリングも立派であるものの、大前提として、発射時のロケットと、帰還時のグライダーとの間の設計思想に、まだ分離主義がつきまわっており、接続や連結の点に無理がシワ寄せされてしまったらしい。

そこを連続的に解決しようという発想から、水平離着陸の普通の滑走路から飛び立つHOTOL (Horizontal Take-Off and Landing) という超々音速機が、イギリスで脚光をあびるようになった。「読売新聞」1986年2月14日付夕刊によれば、スペースシャトル型の爆発するロケット燃料を使わず、もっと経済的な液体水素燃料によって推進され、離陸後9分で高度26,000メートルに達し、大気圏外の低軌道をまわって普通の飛行場へ帰ってくる、という。宇宙船の機能も兼備して、しかも現行の宇宙輸送システムの5分の1の費用で済む。要は、推進力7トンのエンジンを、向こう2年以内に、ロールス・ロイス社が本当に開発できるのか否かにかかっている。

一方、2月5日付の各紙が報じたように、米国のレーガン大統領による一般教書も、水平離着陸の超々音速機「ニュー・オリエント・エクスプレス」を今世紀末までに就航させたい、という。これも爆発の危険がある燃料タンクを使わない安全工学に立って、大気中の水素をそのまま動力源にする特殊エンジンの開発が鍵とされる。

どうやら、宇宙とのかかわりも、地上の日常性と分離されない連続システムの構築を模索しはじめたようである。大自然の食物連鎖という精巧なシステムには及ばないまでも、そのような道を求めはじめたところに、人類の、解脱の前段階としての脱皮現象の幕あけを感じさせられる。

### 3-3 歩・走・飛

HOTOLやニュー・オリエント・エクスプレスが実現するとすると、プラネットラン<sup>14)</sup>による太平洋横断や大西洋横断は必要でなくなるかもしれない。

しかし、プラネットラン構想に芽生えた連続システム観は、未来の交通論のキー・ポイントに迫る。

前述のように、「車のない列車」としてのリニアモーターカーを、真空チューブの中に走らせることによって「翼のない超音速機」「飛ぶ鉄道」にする構想である。

そのコンセプトを実証するために、1985年4月29日にマサチューセッツ工科大学の運動場で行われた実験も見たが、大事なことは、それが連続システムの一环として位置づけられている点である。

ニューヨークとロサンゼルスを24分ないし57分で結ぶ、という猛烈なスピードや、地下100メートルを直進するトンネルの掘削のために、原子力利用の岩石溶融式の自動掘進機まで研究開発中である、という面白さもさることながら、なぜ、このような構想が生み育てられているのか、という理念に注目したいのである。

結論的に言えば、サイクリング車の変速ギアの最高速に当る陸運システムがプラネットランという真空チューブ磁気浮上リニアモーターカーであり、これがアメリカ大陸横断のような超長距離超高速輸送を担う。次に、中高速の長距離輸送を、普通のリニアモーターカーが担当し、高速中距離用の新幹線やT.G.V.が続き、中速短距離の在来鉄道や地下鉄、コミュニティ内の低速新交通システムへと連続する。

空間配置としては、既存の高速自動車道路とは別に、歩行とジョギングやサイクリングのためのスポーツ・ハイウェイを全国に網羅し、その地下に、5メートルないし10メートルの深度で中高速鉄道を、100メートル深度でプラネットランを走らせ、プラネットランのリニアモーターカーは、減速して車輪を利用しながら低速軌道や道路へも乗入れられるような連続的転換システムを構築しよう、というのである<sup>6)</sup>。

## 4. コンセプト・エンジニアリングの研究組織

### 4-1 スタディ・グループ

米国で最初の未来学研究所“The Institute for the Future (IFF)”が、1960年代、F.P.デビッドソン博士を所長として始動した時、方法論に採用されたのはO.ヘルマー博士のデルファイ法と<sup>15)</sup>、T.J.ゴードン博士のクロス・インパクト法であった<sup>16)</sup>。この両方法を結合して、IFFはまずコネティカット州の経済予測に関するシュミレーション・ゲームを試み、意思決定者(Decision-makers)と専門家集団をグローバルに結ぶ“D-Net”の形成に取組んだ<sup>17)</sup>。

知識社会において、知識が自動的に有効な意思決定に直結するわけではなく、学際的・業際的に官民協力の知識装置を構築する必要があることをIFFは早い時期に洞察し、その実現のための組織として、スタディ・グループ(Study Group)の形式が最適であると判断した。当時、高踏的で現実離れた狭い専門家集団の行う未来予測は、変動する社会・経済的条件と急速に向上する知識水準に適応できず、しかも、意思決定の実践的能力をもつ権威と分断されたままであったため、ほとんど何の役にも立たない状態であった。IFFは、イェール大学のH.ラスウェル教授(Harold Lasswell)の説く「意思決定セミナー(Decision Seminar)」の組織論に注目し、産官学協同のスタディ・グループの方式を選んだ。そのひとつの成果が「Geo-Transport Foundation of New England, Inc.」であり、ニューヨーク・ボストン間の鉄道改革計画を推進するために、それまで分散し重複していた連邦政府—州政府—市庁の意思決定機能を調整し、実行計画の作成能力はあっても決定権をもたずに遊んでいた民間活力との結合に道を開いた<sup>17)</sup>。

その場合、グループに参加する実力者たちは、個人の資格でインフォーマルにサロンを楽しむ、という形態が選ばれた。気軽な昼食会や洒落たカクテルパーティーで、ジョークをとばしながら頭の柔軟体操をし、創造的な発想をひき出していった。実は、これよりさき、1957年に、このスタディ・グループ方式の先駆的な集団が、英仏海峡の海底トンネル計画を推進するために活動を開始していたのである。

#### 4-2 Channel Tunnel Study Group<sup>18)</sup>

ドーヴァー・トンネル計画案として、英仏両国政府が採用を決定した「チャンネル・トンネル・グループ=フランス・マンシェ共同構想」は、1957年7月に設立された「チャンネル・トンネル・スタディ・グループ(CTSG)」の発展したものであった。しかもその最初の組織者が、フランク・P.デビッドソン博士なのである。

1975年3月、ニューヨーク市の法人として、ドーヴァー・トンネルのための「Technical Studies, Inc.」が、F.P.デビッドソン所長のもとに創立され、エジプトのナセル大統領によって国有化された直後のスエズ運河会社の役員や英仏両国の国有鉄道の理事、英仏のロスチャイルド家、モルガン・スタンレー財閥(今のMorgan Guaranty Trust Company)のトーマス・ラモント副頭取、スタンダード・オイルのジ

ャック・ボニー副社長、米国の誇る多国籍エンジニアリング企業の雄ジョージ・ブラウンとステファン・ベクテル等、意思決定の中核にある大幹部たちに呼びかけて、同年7月、CTSGの設立に漕ぎつけた。メンバーには、国際道路財団(International Road Foundation)、国際鉄道連盟(International Union of Railways)も含まれているが、面白いことに、エンジニアと大手建設会社は最初の段階では入っておらず、後から指名された。結局、フランスの第一級のエンジニア、ルネ・マルコーとロンドン土木工学研究所長ハロルド・ハーディング卿(Sir Harold Harding)に白羽の矢が当てられた。この技術委員会の研究結果が、1960年3月28日に提出され、道路トンネル、橋梁とトンネル、道路と鉄道、橋梁の諸案について比較検討の上で、単線双坑トンネル案が選択され、これにCTSGが融資をすることになった。1986年1月20日に採用となったチャンネル・トンネル・グループ(CTG)案は、26年前すでに出来上がっていたわけである。

CTSGは、トンネルの所有主兼施工主となり、完成後のトンネルを英仏両国鉄道に長期貸与することとし、これを受けて1961年末、両国政府にワーキング・グループが結成された。同グループは、新たに組織された民間のChannel Bridge Study Groupによる橋梁案をも対象として審査の結果、1963年9月、「海峡連結計画白書」を発表、CTSG案を支持し、CTSGに対して海峡の地質調査を依頼した。さらに、1964年、CTSGの融資力増強を求め、これを英国籍の株式会社The British Channel Tunnel Co., Ltd.と、仏国籍のSociété Française du Tunnel sous la Mancheに分割再編成することとなった。

フランス・ロスチャイルド事務所のジョルジュ・ボンピドゥー専務は、デビッドソン博士からトンネルの計画を聞いた直後に首相となり、次いで大統領に就任したが、1973年11月17日、英国のエドワード・ヒース首相と海峡鉄道トンネル計画の協定を両国外相に命じて調印させることとした。

その後、1974年にトンネル掘削が開始されたが、財政事情の悪化を理由に、1975年、英国政府は協定を破棄、工事を中止した。フランス側からすれば、ナポレオン3世の時代に、1881年、試掘を開始した直後、大英海軍副将ガーネット・ウォルズリー卿がグラッドストーン首相に抗議したため、第1次英仏協定の破棄<sup>19)</sup>となったのにつづく二度目の背信行為と映った。この英仏間の不信感を克服するために、

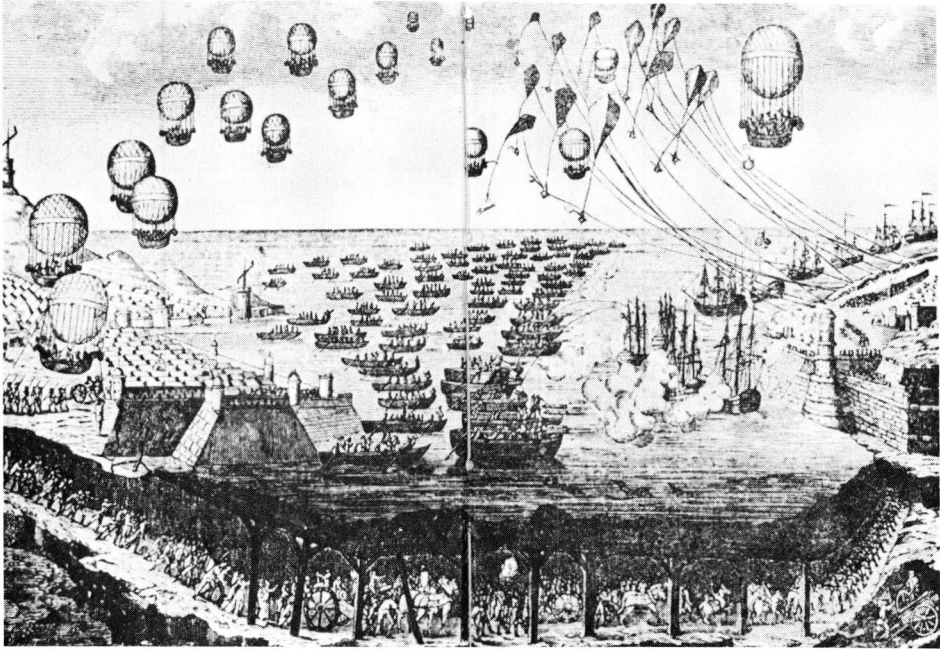


Fig. 1 空、海、そして海峡トンネルからの英国侵略構想  
— ナポレオンが描いていた海峡トンネルの青写真

An early Napoleonic vision of the invasion of England by air, sea, and a Channel tunnel

米国のテクニカル・スタディーズ社をプロモーターとする CTSG の果たした歴史的役割は、マクロ・エンジニアリングの世界史に特筆されるであろう。

### 5. グローバルな展開のために

ドーヴァー・トンネルは、民間主導の巨大プロジェクトとして着工の段階を迎えた。東京湾横断道路計画の場合は、民間活力の導入を銘打ちながらも、免税債を認めるまでにいたらず、州債の70パーセントを免税債が占め、民間主導の公共的プロジェクト推進を有利にしている米国にくらべても、日本の資金調達条件の後進性を浮彫りにした。

ドーヴァーの CTSG によるフィージビリティ・スタディは、交通需要の長期予測、国民経済への波及効果、資金調達組織の新形成、法律制度の調整、政治的対立の解決、海上交通の安全と環境対策、技術的に可能な諸案の概念設計等、20年前としては瞠目に値する周到なコンセプト・エンジニアリングに支えられていた。すでに、青函トンネルは本坑の貫通を見たものの、コンセプト・エンジニアリングの後追いによる見直しに迫られている。アジア・ハイウェイ計画や、ユーラシア・ドライブウェイ、国際ハイウェイ日韓トンネル構想等も、企画ないしフィージビリティ・スタディの段階にあるが、いずれの場合にも、CTSG のようにマクロなコンセプト・エン

지니어リングとは言い難いのが現状である。ジブラルタル海峡トンネルや、ベーリング海峡横断鉄道の構造などについても、当事国的一方だけが熱心であるにすぎなかったり、当事国だけの二国間協力プロジェクトにとどまる閉鎖性が目につく。

もちろん国益は大切であるが、国益どまりのプロジェクトは、いくら巨大であってもマクロ・プロジェクトとは呼べない。超国際的でグローバルな観点から、人間の心の扉を広く開け放つような計画を、当事国以外の協力者を世界的に集めて研究し推進することが望まれる。日本国内のプロジェクトであっても、狭義の概念設計段階で国際的なエンジニアリング・コンペティションを開催すれば、規模は小さくとも質的にマクロな事業が可能となり、国際摩擦の解消にも役立つであろう。ここでも官民協調の新しいスタイルが考案されてよいのではなかろうか。

### 結びに代えて

欧米のマクロ・エンジニアリング学会がいま最も関心をもつ交通システムは、上述のような連続複合システムである。自動車は自動車、列車は列車、という区分発想を超えて、ビギーバックのいわゆるカートレインをドーヴァーに走らせるのもそのひとつの現れである。また、ハイウェイのインターチェンジに、電動パレットを組込んで、運転者の一時休憩

と事故防止に役立てようという構想も、拡大すれば長距離パレット・ラインを鉄道の軌道に併設するハイブリッドな交通システムになる。マサチューセッツ工科大学のデビッド・ウィルソン教授は、青函のような長大トンネルにこのシステムを適用することを提案している。

燃費のかさむ坂道や、排気設備が複雑になるトンネルには、自動車を1台ずつ載せて軌道を走る電動パレットが最適システムである、とするウィルソン説のコンセプトは、自動車の自在性を活かしながら資源・環境に関する社会的コストを低減させようという価値目的に根ざしている。

既述のプラネットランのコンセプトも、航空機による大気汚染を減少させる価値意識に支えられている。水素燃料に転換する超々音速機には、騒音が伴うので、米国マクロ・エンジニアリング協会としては航空機代替システムとしてのプラネットランを推進すべく、そのコンセプト・エンジニアリングを加速させる構えである。

プラネットランの走体はリニアモーターカーであり、日本の技術に寄せる期待はきわめて大きい。超電導と常電導の両方式について、列車型とカプセル型の双方の実用化をはかり、人流と物流の両面について総合的なコンセプト・エンジニアリングを進める必要がある。そのために、日本マクロ・エンジニアリング学会は「大規模輸送研究委員会」（京谷好泰委員長）を発足させた。

#### 参考文献

- 1) Davidson, Frank P. : MACRO-ENGINEERING : A Capability in Search of a Methodology, FUTURES, Vol.1, No.2, December 1968
- 2) Davidson, Frank P., Giacometto, L. J., and Salkeld, Robert ed. : Macro-Engineering and the Infrastructure of Tomorrow, AAAS Selected Symposium 23, Westview Press, Boulder, Colorado, 1978
- 3) Davidson, Frank P., Meador, C. Lawrence, and Salkeld, Robert, ed. : How Big and Still Beautiful? Macro-Engineering Revisited, AAAS Selected Symposium 40, Westview Press, Boulder, Colorado, 1980
- 4) Salkeld, Robert, Davidson, Frank P., and Meador, C. Lawrence, ed. : MACRO-ENGINEERING : The Rich Potential, American Institute of Aeronautics and Astronautics, New York, 1981
- 5) Davidson, Frank P., and Meador, C. Lawrence, ed. : Macro-Engineering and the Future, A Management Perspective, Westview Press, Boulder, Colorado, 1982
- 6) Davidson, Frank P., with Cox, John Stuart : MACRO, A Clear Vision of How Science and Technology Will Shape Our Future, William Morrow, New York, 1983
- 7) F. P. デビッドソン, 中川學編, 菊竹清訓・長友信人監訳 : マクロエンジニアリング——巨視的創造科学の方法, 東海大学出版会, 1982
- 8) 『MACRO NEWS』創刊号, 日本マクロエンジニアリング学会, 1986年2月
- 9) 中川學 : 巨大技術の時代が来た! ——マクロエンジニアリングの挑戦, P H P 研究所, 1982
- 10) 『第1回日本マクロエンジニアリング学会年次研究大会予稿集』日本マクロエンジニアリング学会, 1986年2月
- 11) フランク・デビッドソン : 巨大技術が世界を変える, 『科学朝日』1986年3月号
- 12) Murphy, Kathleen J. : Macroproject Development in the Third World, An Analysis of Transnational Partner-ships, Westview Press, Boulder, Colorado, 1983. 中川學監修, 前田邦夫訳『マクロプロジェクト——多国籍開発事業成功の戦略——』日刊工業新聞社, 1984年
- 13) 講談社ワールド・ダイナミック・シリーズ : 巨大プロジェクト, 講談社, 1985年
- 14) 中川學 : 地下の真空チューブを突き進む超々高速鉄道計画, 『メカニックマガジン』1982年11月号
- 15) Helmer, Olaf : Social Technology, Basic Books, New York, 1966
- 16) Gordon, T. J. : Initial Experiments with the Cross Impact Matrix Method of Forecasting, FUTURES, Vol.1, No.2, December, 1968
- 17) Davidson, Frank P. : Futures Research, RECORD, Vol. VI, No.10, October 1969
- 18) Davidson, Frank P. : Tunneling the Channel, Technology Review, Vol.76, No.7, 1974
- 19) Whiteside, Thomas : The Tunnel under the Channel, Rupert Hart-Davis, London, 1962