

私のライトモチーフ

刀根 薫

tone@grips.ac.jp

はじめに

私は埼玉大学政策科学研究科(GSPS)の第1期から23期までとその後身の政策研究大学院大学(GRIPS)の第1期から12期まで、主として「計画と評価の数理」について講義をし、修士論文と博士論文の指導を行ってきた。現在は free で、外国に行ったとき、”I have no teaching, no meeting, and hence no power, while just enjoying research.”と言うと”Oh! Great! You are in Paradise.”とか”You are in a noisy Paradise, because you play violin.”とからかわれることがある。実際、論文で難所にぶち当たると violin に行き、violin で難所に遭遇するとまた論文に戻るという繰り返しの毎日で、両方ともなかなか完成しない。このような単純な Markov process がいつまで続くことやら。

1. 私のライトモチーフは FBI

GSPS, GRIPS の院生の主体は文系である。このような院生にいきなり数理の話をしてもなかなか乗ってこない。そこである年度から、一計を案じて講義の始めの15分ほどに「私のライトモチーフ」を挿むことにした。落語という枕である。効果はテキメンで遅刻者が減りその後の数理の話にスムーズに入っていた（と自分では思っている）。もっとも昔の卒業生から「先生の数理の部分は忘れたが、ライトモチーフのところだけはまだよく覚えています」といわれたことがある。何をか言わんや。しかしこういう効果もまた良しとしよう。そこで、

私のライトモチーフは**FBI**

Fantastic
Beautiful
Interesting

である。私の FBI 初体験は幼稚園児の頃キンダーブックで見た「ピサの斜塔」である。後年、何度もピサ大学数学教室に滞在して斜塔を堪能した。もしあれが真直ぐ建っていたら、Galileo Galilei の実験もなかったであろうし、そうであれば物理学の歴史も数世紀遅れたであろうし、世界中からピサに押寄せる観光客もなかったであろうしその結果ピサ市の財

政は破綻したであろうし、私のイタリア行きの回数も減ったであろうしその結果スリに会う回数も減ったであろう。まことに歴史の if の影響は大である。そういった体験も含めて、私が FBI と思う都市、絵画、陶磁器、音楽、楽器、作曲家等を PowerPoint を使って講義の前 15 分間で紹介したが、ここではその中からコレクションをいくつかを紹介しよう。

2. 私の空想コレクション

絵画のコピーを直接記載することは著作権の侵害になるので画題だけを記します。ネットで探して下さい。

(1) 田中一村 (1908-1977)

奄美に移住してひたすら FBI を追及した田中一村の絵は眺めていて身が引き締まる思いがする。

『アダンの木』『クワズイモとソテツ』

(2) Giorgio De Chirico (1888-1978)

Chirico の絵は楽しい。どの絵にも双対性が活かされている。

『夢の変容』『イタリアの広場』『Ariadne』

(3) Balthus (1908-2001)

Balthus の絵を最初に見たのは New York の MoMA (Museum of Modern Art) であったが、そのものすごい FBI には感動した。2001 年の没後最初の回顧展を見るために真冬の Venezia まで行ったことが懐かしい。Hotel Vivaldi (こういう名前のホテルがあるのも嬉しい。勿論 Violin Concerto で有名なあの Vivaldi である) に 1 週間滞在して毎日通った。

『Golden days』『The mountain』『The Street』『Le Passage』

(4) 景德鎮

景德鎮の陶磁器を見るために北京、台北、Istanbul まで足をのびした。台北の故宮には北京の故宮よりも優れた景德鎮がある。しかし Istanbul のトプカプ宮殿には世界一と言われる景德鎮のコレクションがあり、オスマン帝国のスルタンの豪華な生活がしのばれる。モーツァルトの「トルコ行曲」や「後宮よりの逃走」に見られるようにトルコは昔も今も課題豊富な国である。世界各地の美術館、博物館、窯元で陶磁器を見たが、景德鎮より優れたものは少ない。

(5) Stradivarius (1644-1737)

Stradivarius にはとても手が出せないが、Cremona, Firenze, New York, Oxford でたっぷり見てきた。眺めるだけでも楽しい。

(6) César Franck (1822-1890)

ベルギー生まれのこの作曲家はドイツ音楽のロジックとフランス音楽のエスプリを半音階的和声進行と循環形式で統一している。その代表作が Violin Sonata (1886) である。そこでは数理計画でいう主問題と双対問題が巧みな対位法とフーガによって展開されている。



Franck Violin Sonata: 刀根 + 高橋徹 (GSPS 9 期)

<https://youtu.be/i5AU8RBue3g>

3. FBI of Linear Programming

線形計画の双対性

$$\begin{array}{ll} \text{[Primal]} & \max_x cx \\ \text{subject to} & Ax \leq b, \quad x \geq 0 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \text{[Dual]} & \min_y yb \\ \text{subject to} & yA \geq c, \quad y \geq 0 \end{array}$$

線形計画の双対定理
Dantzig-von Neumann (1947)
Gale-Kuhn-Tucker(1951)

- [Primal]の可能解の目的関数値は[Dual]の可能解の目的関数値を超えることはない.
- 最適解においては両者は一致する.

双対定理の位置づけ

- Fantastic** 表の世界と裏の世界を結ぶ絆
- Beautiful** 全く無駄のない, 研ぎ澄まされた表現
- Interesting** 無限に広がる応用

4. Data Envelopment Analysis (DEA)をめぐって

DEA との係りは Charnes, Cooper 両先生との交流から始まった.

4.1 Charnes 先生

1984年が私にとってDEAの事始めであった. この年IFORS' 84 (8月6日 - 8月10日) が Washington DCで開催され, 日本OR学会から森口繁一先生を団長とする視察団が組織されたが, 私はその一員として参加した. IFORSの後, AT&T Bell LabやIBM Watson Research Centerを視察して, New Yorkで解団した. その後, U. Rochesterで住田潮氏のお世話になり, 最後にU. Texas at AustinのAbraham Charnes 先生 (愛称Abe) を訪問した (9月20日 - 9月26日). 先生からはDEA研究の現状について教えられるとともに, 共同研究を強く要請された. また日本でのDEA普及に助力して欲しいと依頼された. ここで衝撃的なニュースが飛び込む. それは9月21日号の雑誌*Science*の記事である. 「A Fast Way to Solve Hard Problem」という見出しで, 「線形計画の新解法はあまりに速いので, 専門家もびっくり」「5000変数の問題をIBMプログラムより50倍も速く解いた」と続いている. Karmarkar法の出現である. このようなリーク記事がソースも明らかにしないまま, 論文の所在も明示せずに学術誌以外

の場所に突如として出現したために、Charnes先生は極めて懐疑的でBell LabのKarmarkarの上司に電話でこの非学術的開示を厳しく抗議していた。しかしこれが内点法の始まりで世界中の数理計画研究者の血を沸き立たせる。

私も半分程酔っていたが、1986年の暮れにCharnes先生から国際電報が届いた。当時はemailが無かったのでair mailが主な文通の手段であったがせっかちな先生は電報を用いていた。その冒頭は“No Karmarkar, no, no, no”とあり、DEAのあるテーマについて共同研究をしたいのでTexasに来て欲しいという主旨で、その10日後には10センチほどの厚さの資料が届いた。という訳で2度目のTexas行きは1987年1月25日から2月7日までの2週間であった。テーマは無限個のDMU (decision making unit)に対するDEAの解法。DEAでは通常DMUの個数は有限個であるが、これが無限個になった場合どう解くかという問題である。研究結果は“A Computational Method for Solving DEA Problems with Infinitely Many DMUs” by Charnes and Tone (Research Report CCS 561, Center for Cybernetic Studies, The University of Texas, at Austin, January 1987)として出されたが、一昨年John Wiley & Sonsから出版した本(Advances in DEA Theory and Applications with Extensions to Forecasting Models, Edited by Tone)に再録した。この論文は私の最初のDEA論文であったが、先生と文字どおりtête-à-têteで論文の細部まで検討できたことは貴重な体験であった。この論文にはReferenceとして、「Kortanek, K.O. (1979) Interpolation and Error Bounds for Semi-infinite Programs and Solution of Nonlinear Systems of Equations. *Manuscript.*」のみが記載されていた。Wileyの本を出すにあたり、出典を確認しようと思ったが、Charnes先生亡き後(1992年没:享年75歳)探しあぐねていた。Kortanek先生とは面識がなかったが、ネットを利用して「友人の友人」でたどり着き3日後には返信が届いた。その冒頭には“Dear Professor Tone; Both of us have greatly benefited from knowing Professor Charnes! Our scientific lives benefited greatly.”とあり、原典はGustafson, S.A. and Kortanek, K.O. (1973) Numerical Treatment of a Class of Semi-infinite Programming Problems. *Naval Research Logistics Quarterly*, 20, 3, 477-507.であると教えていただいた。これで30年来の疑問が解けた。Charnes先生のおかげでDEA研究の第一世代のプレイヤー達の知遇を得たことは幸運であった。先生の揺籃には第二世代のプレイヤーが続々と誕生していて、さながら梁山泊もかくやと思わせる情景であった。

その後、先生とは1988年のISMP(東京)、1990年のIFORS(アテネ)でお会いした。時として、というか常にlikes and dislikesを明確に表したが、その強くて熱い人格にはいつも感銘を受けた。

この数理界の巨星のいささか早い逝去は惜みても余りある。

4.2 Cooper 先生

Charnes先生との約束もあり、OR学会誌の1987年から1988年に連載講座「企業体の効

率性分析手法」を公表した。当時の山田善靖編集長のお世話によるものである。同時に留学生用に英文の小冊子も作成した。連載講座に加筆して日科技連出版から 1993 年に「経営効率性の測定と改善—包絡分析法 DEA による」を出版した。

さて、DEA のもう一人の創始者である William W. Cooper 先生 (愛称 Bill) には既に Texas で紹介されていたが、先生が 1993 年に青山学院の招待で来日されてから本格的な交流が始まった。そこで本を共著で書くことになったが、それまで出版されていたような、Proceedings や Monograph ではなくて本格的な Text Book で章毎に問題と解答を付けるということで合意した。初稿は私が書き、Cooper 先生がそれに加筆修正することになった、当時は現在のような Word の機能がなかったので、原稿のやり取りは、FedEx 便で太平洋を数十回往復することになる。ここで Cooper 式英文の洗礼を受けた。私がほんの数行で書いた原稿が、接続詞と関係代名詞でつながった数ページになって戻ってくる。私の monophonic な英文に対して、polyphonic な修正がなされる。そこには行列簿記のように行の小計の和と列の小計の和が一致するというような論理展開が一貫している (先生は米会計学会の重鎮でした)。また Introduction と Background and History Survey が詳細に追加され、さすがは創始者の自負を感じさせた。私は今を去る 69 年前、大学の教養部の学生の頃、Reclam 文庫で哲学者 Emmanuel Kant の Prolegomena zu einer jeden künftigen Metaphysik, die als Wissenschaft wird auftreten können を読んだ時、この高名な哲学者が多重構造の長い文章で自分の思考を表現するのに驚嘆したことがあるが、それに相当するような体験を Cooper 先生の文章から受けた。最後に Lawrence W. Seiford (U. Massachusetts, 現 U. Michigan) の書誌と私の Solver が追加されて、Kluwer Academic Publishers から 1999 年に出版された。この本は世に好評で迎えられたが、Kluwer の名編集者 Gary Folven から「クラシックと呼ばれる本は Second Edition から始まる」と“おだて”とも“おどし”とも取れる要請があり、さらに 6 つの章を追加して 2006 年に Springer から出版した。Kluwer は M&A で Springer に吸収されていた。初版の 318 ページが、2 版は 490 ページに膨れ上がった。この間の DEA の発展を反映したものである。

先生と最後にお会いしたのは 2010 年 Austin で行われた INFORMS の年次大会であったが、ここでは Special Session “In Honor of Bill Cooper” が持たれた。そこには第一、第二、第三世代の DEA プレイヤーが揃っていた。先生は 2012 年に 97 歳で天寿を全うされた。Austin から届いた訃報に接したときの深い悲しみは言葉に表せない。

5. DEA の適用例

私が関係した DEA の適用例の要点を紹介する。

5.1 首都機能移転計画

首都機能移転は、東京一極集中の是正、国政改革の契機及び災害対応力の強化を目的とした、世紀を超える国家の大事業である。国会等移転審議会は国会の同意を経て内閣総理大臣

が任命した 19 名からなる審議会は平成 11 年(1999 年)12 月に移転先候補地 10 地域を選定した。私は国土庁(現:国土交通省)の依頼で首都機能移転企画課の高村義晴氏(当時)と協力してこの審議会のためにグループデシジョン合意形成法を AHP と DEA をもとに開発し、適用した。まず、候補地を評価するための AHP を作成した。最終的な評価項目として 18 個を選んだ。例えば、「文化形成の方向」、「地震災害に対する安全性」、「火山災害に対する安全性」、「外国とのアクセス容易性」、「東京とのアクセス容易性」、「環境との共生」等である。AHP の一対比較によって各評価項目の重要度(ウエイト)を委員毎に決めた。次に、各評価項目に対する 10 の候補地の得点を 5 点満点で評価した。この評価には 14 の検討会に 70 余名の専門家(例えば「地震災害」、「情報ネットワーク」、「環境問題」等の専門家)が参画した。DEA ではこの値が各候補地(DMU)の評価項目に対する得点(出力)となる。入力は共通で 1 である。出力に対するウエイトを制限するために、AHP によって求めた各委員の重要度をもとに DEA の領域限定法を適用した。こうして各候補地の有利度を測定した。同時に、山田善靖先生等の考案した Inverted DEA を用いて各候補地の不利度も測定した。この結果、有利度が高く、不利度が低い栃木・福島、岐阜・愛知の 2 地域が選ばれた。三重・畿央地域については高速道路網が整備された場合に有力な候補地になり得るとした。1999 年 12 月 20 日に内閣総理大臣に移転先候補地について答申し、同答申は直ちに国会に報告された。その後の経済不況等のため実行に移されていないが、国土交通省のホームページには <http://www.mlit.go.jp/kokudokeikaku/iten/> として記載されて残されている。

東日本大震災(2011 年)、熊本地震(2016 年)さらに首都直下地震の発生が想定される状況下でこの課題は再び国家的関心事となっている。

5.2 NTT の上限価格算定

郵政省(現:総務省)では 1998 年に規制緩和推進計画の一環として電話料金の個別認可制を廃止し、届出制とすると共に加入電話等の基本的なサービスについては上限価格(プライスカップ)方式とすることを決め、2000 年 10 月からこの方式を採用することにした。郵政省は「上限価格方式の運用に関する研究会」(1999 年、座長:岡野行秀東京大学名誉教授)を設けこの新方式に関する検討を行った。私はこの研究会に委員として参加し、主として、DEA による NTT 東・西のコスト効率性測定を行った。公共財の料金設定は大きな社会問題である。上限価格方式はそのための有力な手段として英米等で、電話、電力、水道等の料金設定に採用されている。

上限価格を決定するための重要な要因として「消費者物価指数(CPI)」と「生産性向上見込率(X 値)」がある。一般に前期の料金指数から今期のそれを決めるための基本的式は次のとおりである。

$$[\text{今期の料金指数}] = [\text{前期の料金指数}] \times (1 + \text{CPI} - X) \quad (1)$$

CPI は公表された値を用いるとして、問題になるのは X 値である。この式による料金指数の改定が t 年間継続した場合 t 年後の収入は予測される収入(R)に対して

$$R \times (1 + CPI - X)^t$$

となる。この値が t 年後の「費用 (C)」と「適正報酬額・利益対応税額 (P)」の和に等しくなると考える。すなわち

$$R \times (1 + CPI - X)^t = C + P \quad (2)$$

この式から X 値は次式により計算される。

$$X = 1 + CPI - \sqrt[t]{\frac{C + P}{R}} \quad (3)$$

収入 (R)、費用 (C) および適正報酬額・利益対応税額 (P) としては、過去のデータや NTT 東・西の「中期経営改善施策」から予測した値を用いる。その際、費用の予測値が妥当なものであるかどうかを、NTT の持っているコスト非効率性という面から検討した。そのため DEA のコスト効率性を適用した。

NTT は NTT 東 (北海道, 東北, 東京, 関東, 信越) の 5 事業部と NTT 西 (北陸, 東海, 関西, 中国, 四国, 九州) の 6 事業部, 合計 11 事業部からなる。これらの事業部の 1994-1997 年の 4 年間の活動を対象とした。したがって, DMU 数は 44 である。費用効率性を計測するために, 各 DMU について次のようなデータを集めた。

入力 1 : 労働, 入力 2 : 資本, 入力 3 : 原材料

出力 1 : 音声伝達, 出力 2 : 専用

コスト 1 : 労働, コスト 2 : 資本, コスト 3 : 原材料

これらのデータを用いて, 各 DMU の技術効率, 純粋な技術効率, コスト効率, 補正済コスト効率を計測した。

上限価格決定のためにはまず (3) 式により X 値 (生産性向上見込率) を決める。そのため CPI としては 1999 年の変動率 -0.3% を用いた。さらに, NTT 東の音声伝送役務 (電話 + ISDN) の場合, 収入 (R) = 14,898 億円 (これは重回帰分析とトレンド予測の併用による値), 費用 (C) = 13,308 億円 (これは NTT 東が「中期経営改善施策」に示した値で DEA のコスト非効率性を除去することによって可能な値である), 適正報酬額・利益対応税額 (P) = 843 億円とした。また $t=3$ (年間) とした。その結果 $X=1.9\%$ となる。この X と CPI を (1) 式に代入して NTT 東の音声伝送役務の基準料金指数は 97.8% となる。同様の計算を専用役務, 加入者回線についても行い, 電気通信審議会の議を経て 2000 年 6 月 21 日に郵政大臣から NTT 東・西に通知された。NTT 東・西はこの通知を受けて, 2000 年 8 月 31 日に料金変更の決定を行い, 10 月 1 日から実施した。郵政大臣が通知した上限価格と NTT の料金指数は表 1 のとおりである。ほぼ上限価格に近い値に収まっている。

表 1 上限価格と値下げによる NTT 指数

	音声伝送役務		専用役務	
	上限価格	NTT 指数	上限価格	NTT 指数
東	97.8%	97.4%	97.6%	95.8%
西	97.8%	97.8%	97.6%	96.3%

詳細な内容については以下を参照されたい。

http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/daijinkanbou/030418_5.pdf

5.3 次世代スーパーコンピュータの設置場所

次世代スーパーコンピュータの開発プロジェクトは 2012 年までに 10Petaflop/s のシステムを開発するという国家的な事業であった。1,150 億円を投入したこのプロジェクトは国会の承認を得て理化学研究所（理研）が担当することになった。2006 年 7 月に理研はその設置場所を全国的に公募したが、15 の都市が応募した。理研は場所選定のための委員会（委員長：黒川清日本学術会議会長(当時)）を組織した。14 名のこの委員会に私は選定方法担当として参加した。他の委員はスーパーコンピュータユーザー、ソフトウェア専門家、システム設計家からなる。

選定方法としては首都機能移転の場合と同様に AHP と DEA を併用した。評価項目としては地震、雷、気候、土地の拡張性、電力、ガス、水、通信ネットワーク、近隣災害等 24 個を用いた。各評価項目に対する 15 の候補地の評点を各分野の専門家によって決めた。次に各評価項目の重要度を 6 名の選定委員がそれぞれ AHP を用いて評価した。その評価値を用いて DEA の領域限定法により各候補地の有利度(Positives)と不利度(Negatives)を測定した。その結果、最終候補として 5 都市（仙台、和光、横浜、大阪、神戸）が選定された。その 5 都市について現地視察を重ねて、24 個の評価項目に関するより正確な評点を得た。これをもとに 5 都市を再び領域限定法によって評価した。その結果、有利度、不利度の両面から図 1 の結果を得た。2007 年 3 月 29 日に理研は “The Winner is Kobe” として神戸に決定した。スーパーコンピュータ「京」はその後も改良を重ねて利用されている。

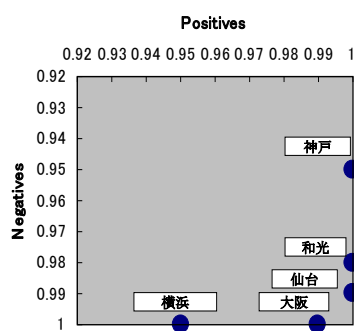


図 1 有利度と不利度

(Figure 31.6 in *Advances in DEA Theory and Applications*, by Tone, John Wiley 2017)

6. Slacks based Measure (SBM) of Efficiency

DEA and Duality Creation of **Slacks-based Measure** (SBM)

- **Tone (2001)**, A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis, *European Journal of Operational Research* 130, 498-509.
- **Tone (2002)**, A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis, *European Journal of Operational Research* 143, 32-41.

この2編の論文は私の現在までの代表論文とされている。その後の関連論文 (Network SBM, Dynamic SBM, Dynamic and Network SBM, Undesirable output SBM, EBM, SBM_Max 等) も含めて引用件数は5,000を超えている。私の全著作 (論文と著書) の引用件数は約20,000 (Google Scholar Citation: 2019/02/19 現在) であるから SBM 関連論文の注目度が高いことが分かる。EJOR の調査によると直近2年間の論文引用回数の第1位は Charnes-Cooper の DEA, 第2位は私の SBM, 第4位は Saaty の AHP が入っている。目下のところ SBM は私のブランド名になっているが何年もつか興味しんしん。

終わりに

顧みると私の人生の半分近くを GSPS, GRIPS で過ごしたことになる。事務方をはじめ関係者一同に感謝したい。GSPS では OR の演習と称して荒川の河川敷で院生とゴルフに興じた。動的計画法の最短ルートで攻めるはずが、そうはならず、荒川のハザード (OB) にボールを大量に打ち込んでいたのも懐かしい思い出である。GRIPS では博士課程が始まったので、共著論文が増えた。Reviewers からの厳しい注文に対して、院生と真剣に反論を書いていたのも楽しい思い出である。GRIPS 博士: 中林健 (防衛省), 龍俊明 (Mitsubishi UFJ Securities), 筒井美樹 (電力中央研究所), Kidanemariam Hailu (FDRE Policy Study and Research Center, Ethiopia), Xing Zhang (FiNC, Tokyo) や Post Doc で2年間在籍した Biresh Sahoo (Xavier U., India) の諸君とは共著論文を書いている。インターネットの普及で共著の輪が広がり、共著者の国籍は日, 米, 英, 豪州, 台湾, 中国, インド, カナダ, フランス, イラン, エチオピア, ベトナム, マレーシア, UAE におよぶ。

さてさて、ボードレールの詩 Enivrez-vous (酔っていたまえ) にいざなわれて FBI の

旅を過ごして来たが、まだまだ醒めてはいけないのだろうか。天国の Cooper 先生からはまだ早いと言われるだろうが。

Thank you my friends!!



Tone (1931-2011)