

手軽に AHP/DEA を利用できる Web アプリケーションを目指して

小畑 経史

手軽にオペレーションズ・リサーチ手法を利用できる環境を提供することを目的に、Web ブラウザさえあれば動作する Web アプリケーションを開発し公開してきた。1996 年から公開した AHP Web アプリケーションは、一度公開を中断したものの、2013 年に復活させた。さらに、2014 年には DEA Web アプリケーションを追加した。これらのアプリケーションは、初学者や文系学生を含む大学教育や、一般市民向けのイベントなどに活用されており、オペレーションズ・リサーチの普及につながることが期待される。

キーワード：AHP、一対比較、DEA、Web アプリケーション、HTML5

1. はじめに

特別なソフトウェアや費用負担なく AHP (analytic hierarchy process) [1] や DEA (data envelopment analysis) [2] を含むオペレーションズ・リサーチ手法を広く手軽に利用してもらうことを目指して、これまで Web アプリケーションを開発、公開してきた。ここで紹介する Web アプリケーションは、現在 webdeor.jp¹ で公開しており、自由に活用されることを願っている。本稿ではその開発の経緯や使い方、実際の活用事例について紹介する。

2. 開発の経緯

2.1 AHP アプリケーション

一連の Web アプリケーション開発の出発点となったのは、1996 年ごろに富山大学経済学部の白石俊輔先生（現広島工業大学情報学部）から、AHP を簡単に使えるシステムができないか、との相談を受けたことであった。主観的な意思決定を直感的な一対比較の積み重ねで行う AHP は、数理的な素養が十分でない非専門家にも取り付きやすい手法といえる。しかし、一対比較の結果から評価対象のウェイトを求める段階になると、固有ベクトルや幾何平均の計算が不可欠であり、これらを計算する手段のない者にとっては、ここが最大のハードルとして立ち塞がる。白石先生の相談でも、このハードルさえクリアできれば経済学部の文系学生にも興味をもって AHP を使ってもらえる、ということであった。なお、当時でも商用ソフトウェア

だけでなく、無償で利用できる表計算ソフトウェアによる計算ツール（文献 [3] 参照）も存在したが、特に評価基準の数や階層が多いと、ウェイト計算を何度も繰り返すのは面倒な作業であった。

そこで、白石先生と一緒に、まずは固有ベクトル法でウェイトを計算するツールの作成に着手した。

ツールの実行環境として、単独のアプリケーションと Web アプリケーション²が考えられたが、単独のアプリケーションは実行環境ごとに開発が必要なため、一つのシステムで実行環境を選ばない Web アプリケーションを選択することにした。さらに、Web アプリケーションは、主要な計算を Web ブラウザ側で行うクライアントサイド Web アプリケーション³と、サーバ側で行うサーバサイド Web アプリケーションに分けられるが、手軽に広く利用できるというメリットと、それほど高度なグラフィック表現が必要ないことから、サーバサイド Web アプリケーションを採用することにした。

まず、1996 年に一回の一対比較から固有ベクトル法でウェイトと整合度を計算する Web アプリケーション「重要度計算システム」を、大分大学と富山大学で公開した [4]。サーバ環境は Apple Macintosh を用い、ベキ乗法を実装した CGI (common gateway interface) プログラムにより主固有値・固有ベクトルの計算を行った。当時は Web サーバを独自に構築するための情報収集に苦労したことが思い起こされる。

評価対象どうしの一対比較の結果、すなわち、一対比較行列の値の入力には、数値そのものを入力する方

おばた つねし

大分大学理工学部

〒870-1192 大分県大分市旦野原 700

t-obata@oita-u.ac.jp

¹ <https://webdeor.jp/app/html5/>

² 当時はまだ「Web アプリケーション」という呼称は使われていなかったが、便宜上この呼称を使用する。

³ 当時はリッチなクライアントサイド技術として Java Applet と Flash が登場したころであった。

法と、AHP の特徴である「言葉」の選択による入力方法を用意した。

次いで、AHP の全体を実行する Web アプリケーション「Web DE AHP」を 1997 年に公開した [5]。問題の階層構造の作成から、評価基準の一対比較、評価基準ごとの代替案の一対比較を経て、総合ウェイトの積み上げ計算までを行えるようになった。Web ブラウザの表現力の限界から、問題構造を階層図に描くことはできないが、HTML で表現できる範囲で階層構造を表した。一対比較には重要性／優劣の違いを視覚的に入力できるインジケータ入力を追加した。

このシステムをしばらく公開していたが、2006 年ごろに公開を終了した。これは、サーバ環境の維持が困難になったことや、セキュリティ面の懸念により個人の研究室のサーバを外部に公開することが制限されるようになったことなどが理由である。外部サーバへの移行も検討したが、サーバ環境としてあまり一般的でない Macintosh を使用していたことから断念した。

しばらくの休止期間を経て 2013 年に AHP Web アプリケーションを「Web DE AHP neo」として復活させた [6]。このシステムでは、この当時広まりつつあった HTML5 による Web アプリケーション技術を使用した。HTML5 では主要な計算はクライアント側で実行するため、対応した Web ブラウザが必要となる。その意味で、利用者の実行環境に依存するといえるが、当時広く普及していた Web ブラウザのほとんどは対応済みであり、手軽に広く利用できる、という目的に適っていると判断した。

機能面では基本的に Web DE AHP を踏襲し、AHP 全体を通しての計算ができる。一対比較の際には、左右に配置された比較対象の間のスライダーを直感的に動かすことで比較を行う。その際、比較の並び順や左右の項目の配置をランダムにすることで、比較順によるバイアスを排除することを意識した。さらに、比較対象の数が多い場合にはすべての比較を行うのは負担が大きいため、一部の比較をパスできるようにした。欠損のある一対比較行列からのウェイト計算には Harker 法 [7] を使用している。

AHP に馴染みのない方には、たとえ本アプリケーションを使用するとしても問題の階層構造を考えて一対比較を繰り返すことはハードルが高い。実際には、一回の一対比較だけでも個人的な簡単な意思決定に利用することはできる。そこで、一回の一対比較だけを「好み」の度合いを数値化するための手法ととらえ、一対比較から重要度ウェイトの計算までの手順を実行す

るアプリケーションをより一般向けにアレンジしたものを、「好きメーター」という名称で公開した。後述するように、大分大学で開催された一般市民対象の「大分大学開放イベント」に出展し、小中高生や引率の保護者に触れてもらっている。これが、AHP に触れるきっかけの一つとなることを期待している。

2.2 DEA アプリケーション

Web DE AHP neo の作成がひと段落した 2013 年ごろから、Web DE AHP neo と同様 HTML5 技術を用いて DEA を実行する Web アプリケーションに着手した⁴。

DEA では一部の係数だけが異なる線形計画問題を繰り返し解く必要がある。そこで、まずシンプレックス法を実装した計算部分を作成し、それを用いて副産物的に線形計画法を解く Web アプリケーション「Web DE LP」を公開した。

ついで、DEA の計算に必要な一連の線形計画問題を自動的に作成して解く Web アプリケーションを「Web DE DEA」という名称で 2014 年に公開した [9]。線形計画問題を解くこと自体は Microsoft Excel のソルバー機能などでも可能だが、係数を変えながら繰り返し解くとすると、かなり面倒な作業であることは否めない。このシステムでは問題解決に必要なデータを一度入力するだけで、この繰り返し計算の手間を大幅に省くことができる。

規模の収穫に関して CRS モデル、VRS モデル、IRS モデル、DRS モデルの指定を、指向性に関して入力指向、出力指向の指定を可能とし、同じデータに対してモデルと指向性を切り替えて計算できる。また、システムへの数値の入力に CSV ファイルからの読み込みの機能をもたせ、ほかで収集したデータからの入力を容易にした。

3. 使用方法

現在公開中のアプリケーションについて、その使い方を紹介する。

3.1 Web DE AHP neo

AHP Web アプリケーション「Web DE AHP neo」⁵は、次の手順で実行する。

1. 問題の階層構造の作成

⁴ DEA に関する Web アプリケーションとして、これ以前に DEA ベースのランクつき投票データの分析手法を実装した Java Applet を作成した [8] が、汎用的な DEA 計算を意図したものではないため、ここでは触れない。

⁵ https://webdeor.jp/app/html5/ahp/web_de_ahp1.3.html

図 1 Web DE AHP neo, 問題構造の入力

2. 一対比較

3. 総合スコアの計算

アプリケーションのトップページにアクセスして現れる初期画面に、目的、評価基準、代替案を入力する。評価基準を増やすには目的の直後の「サブ項目を追加」を、代替案を増やすには「代替案を追加」ボタンを用いる（図 1、入力例は文献 [10] より）。評価基準直後の「サブ項目を追加」ボタンにより、評価基準を細分化し階層を増やすこともできる。階層構造の指定が完了したら「階層構造を決定」ボタンを押して確定する。

階層構造パネルに、一対比較すべき項目にリンクが張られた形で問題の構造が表示される。一対比較を行いたい項目のリンクをクリックすると一対比較パネルに比較の入力インタフェースが現れる。

一対比較のインタフェースは、左右に比較すべき項目が、その間に両者の重要性／優劣を入力するためのスライダーが配置される。左右の項目を比較して、より重要／優秀と思う項目の方へスライダーを動かす。その際、スライダーを大きく動かすほど重要性／優劣の違いが大きい、小さく動かすほど重要性／優劣の違いが小さいことを意味する。同程度であれば初期状態である中央のままでよい。

評価対象のペアのうち比較が困難／面倒なものがあれば、「比較をパス」のチェックボックスをチェックする。なお、パスする比較が多すぎてウェイト計算ができない場合はエラーメッセージが表示される。

すべての入力が進んだら「ウェイトを計算」ボタンを押すことで、ウェイトの値（パーセンテージでの値）と整合度（Saaty の C.I.）が表示される（図 2）。整合度が悪い場合は比較をやり直すよう促される。

図 2 Web DE AHP neo, ウェイト計算結果

計算結果に問題がなければ「計算結果を確定」ボタンで確定すると、階層構造パネルに求まったウェイトが表示される。このボタンを押さないと総合ウェイトの計算に反映されない。

この手順をすべての一対比較について繰り返し実行する。

すべての一対比較を完了すると計算結果パネルに自動的に総合ウェイトの計算結果が表示される（図 3）。それとともに計算結果の記録が CSV 形式で表示される。結果に納得できなければ、「同じ問題をやり直す」ボタンで問題の階層構造はそのままで最初からやり直すことができる。

3.2 好きメーター

一回の一対比較だけを行う「好きメーター」はいくつかのバージョンを用意しているが、ここでは、スマートフォン向けのインタフェースを採用した「好きメーターモバイル」⁶について説明する。これは、小中学生を含む若年層や、数学や OR に馴染みのない一般の方でも使っていただけることを念頭に作成した。

このアプリケーションは

1. 比較項目入力ページ
2. 一対比較ページ
3. 結果表示ページ

から構成される。

アプリケーションは比較項目入力ページから開始する（図 4）。

まず「対象数」を入力すると、それに合わせて評価対象の入力欄が増減するので、対象の名称を入力する。

次にどのような主観的な判断をするかを「形容詞」で指定する。ここで指定した形容詞が以降の一対比較

⁶ <https://webdeor.jp/app/html5/ahp/suki-meter-jqm1.1.1.html>

Web DE AHP neo v.1.3

同じ問題をやり直す 初期状態に戻る

階層構造

- ゼミの選択
 - ゼミの内容 (0.637)
 - Aゼミ (0.484)
 - Bゼミ (0.349)
 - Cゼミ (0.168)
 - ゼミの雰囲気 (0.258)
 - Aゼミ (0.333)
 - Bゼミ (0.528)
 - Cゼミ (0.14)
 - 就職活動へのつながり (0.105)
 - Aゼミ (0.105)
 - Bゼミ (0.258)
 - Cゼミ (0.637)

一対比較

計算結果

項目	割合
Aゼミ	40.5%
Bゼミ	38.6%
Cゼミ	21%

CSV format:

```

ゼミの選択
ゼミの内容,0.6369855718450453
ゼミの雰囲気,0.2582849943110954
就職活動へのつながり,0.10472943384385916
C.I.,0.019255545446759115

ゼミの内容
Aゼミ,0.4836044948355542
Bゼミ,0.34873919000291187
Cゼミ,0.16765631516153387
      
```

同じ問題をやり直す 初期状態に戻る

図3 Web DE AHP neo, 最終結果

一対比較

バナナ が好き 3 ミカン が好き

ブドウ が好き -4 バナナ が好き

リンゴ が好き 4 ミカン が好き

ブドウ が好き -2 リンゴ が好き

バナナ が好き 3 リンゴ が好き

ミカン が好き 1 ブドウ が好き

「好き」度を計算

図5 好きメーター, 一対比較ページ

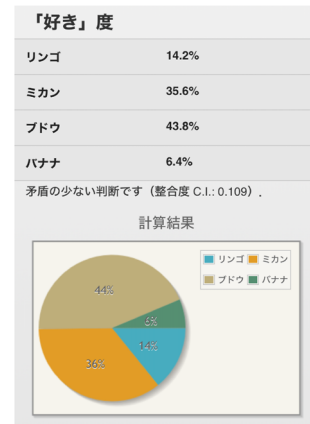


図6 好きメーター, 結果表示ページ

比較対象

対象数:

4

リンゴ

ミカン

ブドウ

バナナ

形容詞:

好き

決定

図4 好きメーター, 比較項目入力ページ

ページ, 結果表示ページで使われる。「好き」「重要」「大切」「優秀」「よい」が選択できる。

「決定」ボタンで一対比較ページに推移する。

一対比較ページには, 左右に比較する項目, その間にスライダーが表示される。左右の項目を比較して, スライダーをより「好き」な項目の方へ, その程度に応じて動かす (図5)。

比較が完了したら「「好き」度を計算」ボタンで結果表示ページに推移する。

結果表示ページには, 各評価対象のウェイトの値がパーセンテージで表示されるとともに, その大小を視覚的に表現した円グラフが表示される (図6)。

3.3 Web DE DEA

DEA Web アプリケーション「Web DE DEA」⁷は, 次の手順で実行する。

1. データ入力
2. 指向性, モデルの指定
3. 結果表示

データ入力パネルにDMUの数, 入力項目数, 出力項目数を入力すると, それに合わせてデータ入力欄が適切に広がるので, DMUの名称, 入出力項目名, データ値を入力する (図7, 入力例は文献[11]より)。

DMUや入出力項目が多いと一つずつ入力するのが面倒なため, CSVファイルから入力することもできる。CSVファイルのフォーマットはサンプルファイルを提供しているのでそちらを参照されたい。日本語の場合は文字コードをUTF-8に指定する必要がある。

⁷ https://webdeor.jp/app/html5/dea/web_de_dea2.1.html

データ入力

DMUの数:
入力の数:
出力の数:

	Inputs			Outputs	
	住宅	家賃	パン	医師	年収
シアトル	586	581	1.45	4.49	46928
デンバー	475	558	0.97	2.79	42879
フィラデルフィア	201	600	1.5	3.64	43576
ミネアポリス	299	609	1.49	2.67	45673
ローリー・ダラス	318	613	0.99	4.94	40990
セントルイス	265	558	0.89	3.4	39079
シンシナティ	467	580	1.25	2.8	38455
ワシントン	583	625	1.29	3.35	54291
ピッツバーグ	347	535	0.99	3.66	34534
ダラス	296	650	1.5	1.96	41984
アトランタ	600	740	1.19	2.23	43249
ボルチモア	575	775	0.99	4.02	43291
ボストン	351	888	1.09	5.69	46444
ミルウォーキー	283	727	1.53	3.11	41841
ナッシュビル	431	695	1.19	3.25	40221

CSVファイルからデータを読み込む: sample.csv

(入力用CSVファイルのサンプルは [こちら](#))

指向性: ☒ 入力指向 ☐ 出力指向

規模の収穫: ☒ CRS (CCR) モデル ☐ VRS (BCC) モデル ☐ IRSモデル ☐ DRSモデル

図 7 Web DE DEA, データ入力パネル

分析結果									
	Efficiency	Score	住宅 slack	家賃 slack	パン slack	医師 slack	年収 slack	Ref. DMUs	
シアトル	**	1	0	0	0	0	0	シアトル	
デンバー	**	1	0	0	0	0	0	デンバー	
フィラデルフィア	**	1	0	0	0	0	0	フィラデルフィア	
ミネアポリス		0.982	0	0	0.036	0.849	0	フィラデルフィア, ワシントン	
ローリー・ダラス	**	1	0	0	0	0	0	ローリー・ダラス	
セントルイス	**	1	0	0	0	0	0	セントルイス	
シンシナティ		0.808	0	0	0	0	0	シアトル, フィラデルフィア, ローリー・ダラス, ワシントン	
ワシントン	**	1	0	0	0	0	0	ワシントン	
ピッツバーグ		0.898	0	0	0	0	0	シアトル, フィラデルフィア, ローリー・ダラス, ワシントン	
ダラス		0.864	0	0	0	1.383	0	フィラデルフィア, セントルイス, ワシントン	
アトランタ		0.822	14.197	45.583	0	0.584	0	デンバー	
ボルチモア	**	1	0	0	0	0	0	ボルチモア	
ボストン	**	1	0	0	0	0	0	ボストン	
ミルウォーキー		0.812	0	5.617	0	0.444	0	フィラデルフィア, セントルイス	
ナッシュビル		0.781	16.194	0	0	0	0	ローリー・ダラス, セントルイス, ワシントン	

(** Efficient, * Weakly Efficient)

CSV format:

住宅,家賃,パン,医師,年収

シアトル,586,581,1.45,4.49,46928

デンバー,475,558,0.97,2.79,42879

フィラデルフィア,201,600,1.5,3.64,43576

ミネアポリス,299,609,1.49,2.67,45673

ローリー・ダラス,318,613,0.99,4.94,40990

セントルイス,265,558,0.89,3.4,39079

シンシナティ,467,580,1.25,2.8,38455

ワシントン,583,625,1.29,3.35,54291

ピッツバーグ,347,535,0.99,3.66,34534

図 8 Web DE DEA, 計算結果

入力指向／出力指向の別と、規模の収穫に関するモデル（CRS, VRS, IRS, DRS のいずれか）を選択して、「効率値を計算」ボタンを押すと DEA 計算が実行される。計算結果として、分析結果パネルに効率性、弱効率性、効率スコア、各入出力スラック、参照集合が表示される（図 8）。合わせて、計算結果をほかのソフトウェアで利用できるよう、各数値が CSV フォーマットでも表示される。こちらには目指すべき仮想的 DMU の凸結合の係数も含まれる。

4. 活用事例

「Web DE AHP」, 「Web DE AHP neo」は、筆者が大分大学でのいくつかの講義において、教材として使用しているほか、白石俊輔研究室（富山大学経済学部, 広島工業大学情報学部）での卒業研究として、サッカーチームの評価, レジャー産業の評価などに使用された。本アプリケーションの AHP 事例への利用は、ゴミ処理システムの評価 [12], 豊中市の行政評価 [13] などが見られる。

大分大学では毎年 11 月の学園祭に合わせて、市民の皆さんに大学に触れていただくために「大分大学開放イベント」を開催している。来場者の多くは小学生とその保護者や中学生／高校生のグループであり、これらの方々には大学での教育研究内容を PR する貴重な機会となっている。これまで何度か、このイベントの企画の一つとして「好きメーター」を出展した（図 9）。左右に並んだ項目の間のスライダーを動かすだけ、と



図 9 大分大学開放イベントの様子（2023 年 11 月）

いう操作は、小学生でも簡単な説明で理解でき、少し触れるだけですぐに使いこなしていた。保護者や高校生の中には背後の仕組みに興味をもつ方もおり、使われている数学を説明する場面もあった。

「Web DE DEA」は、関谷和之研究室（東京理科大学経営学部）の卒業研究として、航空輸送業務の評価, プロ野球球団の戦力強化の評価などに、中石知晃研究室（九州大学経済学部）の卒業研究として、農業の生産効率性の評価などに利用された。ほかに、本アプリケーションを使用した DEA 事例として、市町村合併による下水道の効率性評価 [14] などがある。

5. おわりに

AHP, DEA を誰でもが簡単に利用できる Web ア

アプリケーションとして公開することで、専門家に限らず手軽に広く OR 手法を利用できることを目指した。初学者や文系学生を対象にした大学教育に活用されていることや、若年者を含む一般市民でも難なく利用できていることから、「手軽に」という点はある程度達成できたのではないかと考えている。本特集により、AHP、DEA がより一層「広く」利用されるようになる一助として、一連の Web アプリケーションが役立てば幸いである。

さらなる OR の普及のために、今後、ほかの OR 手法についても Web アプリケーション化を進めていきたい。また、一部のアプリケーションでは与えるデータによっては適切に計算できないケースがあることがわかっており、内部の計算の確実性についても見直しが必要と感じている。

謝辞 一連のアプリケーション開発のきっかけを与えてくださり、常に助言を続けてくださった白石俊輔先生に深く感謝申し上げます。また、本稿執筆の機会をくださった編集委員の皆様に御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 刀根薫,『ゲーム感覚意思決定法—AHP 入門—』,日科技連出版社, 1986.
- [2] 刀根薫,『経営効率性の測定と改善—包絡分析法 DEA による—』,日科技連出版社, 1993.
- [3] 権藤元, 宇佐川雄士, “ロータス 1-2-3 による AHP シート,” オペレーションズ・リサーチ:経営の科学, **34**, pp. 164–168, 1989.
- [4] 小畑経史, 白石俊輔, “WWW による一対比較行列の重要度計算システム,” 大分大学工学部研究報告, **35**, pp. 49–54, 1997.
- [5] 小畑経史, 白石俊輔, “WWW を利用した AHP システムの構築,” 大分大学工学部研究報告, **38**, pp. 29–34, 1998.
- [6] 小畑経史, “HTML5 による AHP Web アプリケーションの構築,” 大分大学工学部研究報告, **62**, pp. 1–7, 2015.
- [7] 加藤豊,『例解 AHP—基礎と応用—』, ミネルヴァ書房, 2013.
- [8] T. Obata and H. Ishii, “A method for discriminating efficient candidates with ranked voting data,” *European Journal of Operational Research*, **151**, pp. 233–237, 2003.
- [9] 小畑経史, “誰でも手軽に使える DEA ウェブアプリケーションの構築,” オペレーションズ・リサーチ:経営の科学, **62**, pp. 431–436, 2017.
- [10] 杉浦伸, “AHP の例解,” オペレーションズ・リサーチ:経営の科学, **69**, pp. 6–11, 2024.
- [11] W. D. Cook and J. Zhu, *Data Envelopment Analysis Balanced Benchmarking*, 2013. (森田浩訳,『データ包絡分析法—バランスの取れたベンチマーキング—』, 静岡学術出版, 2014.)
- [12] 松本亨, 鮫島和範, 井村秀文, “デイスポージャー導入による家庭の生ゴミ処理・再資源化システムの評価,” 環境システム研究論文集, **28**, pp. 9–19, 2000.
- [13] 木下栄蔵, 田地宏一,『行政経営のための意思決定法—AHP を使った難問打開の新手法—』, ぎょうせい, 2005.
- [14] 宮原慎, 中村憲明, 加知範康, 塚原健一, “包絡分析法を用いた市町村合併による下水道の効率化の検証と広域化で目指す規模の目安に関する研究,” 下水道協会誌, **57**, pp. 94–102, 2020.