

# 個人の行動変更許容度と行動変更波及効果を考慮した健康生活支援推薦システム

小池 亜弥\*<sup>1</sup> 白井 康之\*<sup>1</sup>  
Aya Koike Yasuyuki Shirai

\*<sup>1</sup>(株)三菱総合研究所  
Mitsubishi Research Institute, Inc

In this research, we developed a system to provide directive advices of health and daily living to improve health consciousness with considering individual action change tolerances and propagation effects and evaluated the system. Moreover, we embodied advices by providing anonymized information of other healthy monitor (who already change the bad behavior and improve health consciousness) having similar attributes. As a result of providing advices for 150 monitors based on their life records for about 2 months, we found that serendipity for our advices was higher than that for normal health directive advices.

## 1. はじめに

我が国において、高血圧性疾患や糖尿病等の生活習慣病の患者数は年々増加傾向にある。生活習慣病は様々な重大疾患の要因となり、社会的に問題である医療費増大の一因となっている。生活習慣病の予防には、食事において塩分を控える、適度な運動を行う等、日常生活の中での取り組みが重要であり、近年「未病」と呼ばれる病気になる手前の段階における日常生活の中での予防に対するニーズが高まってきている。欧米ではPHR(Personal Health Records)の概念の下、ポータルサイトで個人が自分の健康情報を閲覧・管理するサービスがGoogle Health等で行われており、我が国においても官民学でPHRに関する研究・検討が行われている。このように、国内外において日常生活における食事・運動等の生活情報や体重・血圧等のバイタルデータといった健康情報を健康管理へ活用するためのサービス・研究が盛んに行われている。一方、増え続ける患者数(または予備軍)に対する医師や管理栄養士等の指導者人材が大幅に不足しているため、アドバイスの自動化等による指導の効率化が求められている。

本研究では、食事履歴・運動履歴・体重計情報・体動計情報をもとに、効率的に健康意識を改善するためのアドバイスを自動的に提示するシステムを開発する。健康意識の改善があったモニタの行動パターンを基に、行動変更の効果関数を算出し、意識改善のため最も効果的な行動変更のアドバイスを行う。その際、行動を変更することに対する個人の許容度(例えば、「お酒は絶対に止められない」等)と、行動を変更することにより他の行動に与える波及効果も考慮する。また、こうした健康管理ツールはユーザが継続的に使うことに意義があり、そのためにはユーザの入力のモチベーションになるようなコンテンツを提示する必要がある。本研究では属性の近い優良被験者(既に行動改善により健康意識の改善があった被験者)の情報を匿名化し提示することで指導内容の具体化を行う。被験者150名の53日間の生活履歴を元にアドバイスを提示し、エキスパートシステムに基づいた健康指導アドバイスとのモニタからの評価を比較する。

Amazon等の従来のソーシャルフィルタリングでは過去の購買履歴と他人の購買履歴のみに基づいたリコメンデーション

連絡先: 小池 亜弥

(株)三菱総合研究所 情報技術研究センター,  
東京都千代田区大手町 2-3-6,  
a-koike@mri.co.jp

を行っており、ユーザの目的や状況は考慮されていない。本研究では、ユーザの状況を考慮し目的に合致した新たなリコメンデーションの方法論を提案する。

なお、本研究は経済産業省 H21 情報大航海プロジェクト [IGV] の一環で行われたものである。

## 2. 使用したデータ

### 2.1 日々の入力データ

本研究で用いたデータは2009年11月2日~2009年12月25日に収集した30代~50代のメタボリックシンドロームである(またはメタボリックシンドロームを気にしている)男性150名分の生活履歴(食事履歴・運動履歴・日常生活履歴・体重計情報・体動計情報)のデータである。図1に本実験で利用したデータ収集システムの構成図を示す。モニタはモニタサイトから食事内容・運動内容・日常生活内容を入力し、センサデータ送信アプリケーションから体重計・体動計のデータを送信する。収集されたデータはデータ統合基盤に集約され、データ統合基盤に蓄積されたデータからリコメンデーションエンジンにより最適な健康指導アドバイスを決定する。健康指導アドバイスはモニタサイトを經由しモニタに提示される。健康指導アドバイスに対するユーザからのフィードバックもモニタサイト上で行う。

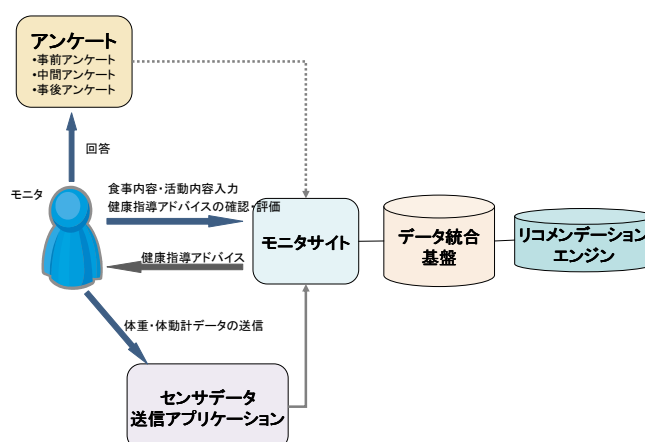


図 1: システム全体図

本実験で収集したデータ項目を表 1 ~ 表 4 に示す。事前アン

ケートは実験開始前に、中間アンケートは実験中盤に、事後アンケートは実験終了直前に行った。実験期間中は表 2 の項目を収集した。

表 1: 事前アンケート項目

事前アンケート項目	
運動に関する行動ステージを分類するための質問	
食事に関する行動ステージを分類するための質問	
食生活におけるくせやすれ(体質や体重)に関する認識、空腹感・満腹感、食動機、食べ方、食事内容、生活の規則性を把握するための質問	
主要5因子性格検査(ビッグファイブ)に基づいた性格分類のための質問(70問)	
家族構成	
年齢	
性別(本実験では男性のみを対象)	
乗用車の所有状況	
主な交通手段	
生活タイプ	
生活リズム	
喫煙状況	
趣味	

表 2: 実験収集項目

体重計情報	食事内容	1日の振り返り内容
対象日	メニュー名	対象日
体重計型番	カロリー	運動に対する気持ち
体重	食事の感想	食生活に対する自己評価
体脂肪率	食事の時間	その日の気分
BMI値	食事をした場所	その日の体調
基礎代謝率	運動内容	取り組み度合い
筋肉率	対象日	フリーコメント
内臓脂肪率	運動タイプ(有酸素運動/筋力運)	健康指導アドバイスに対する評価
体動計情報	運動種別	対象日
対象日	実施時間	アドバイスを実行希望性
体動計型番	日常生活活動内容	アドバイスを実行可能性
消費カロリー	対象日	アドバイスの期待効果
歩数	活動内容	アドバイスの目新しさ
歩行距離	実施時間	アドバイスの有用性
運動強度		
運動量(NEAT含む)		
運動量(NEAT含まず)		

表 3: 中間アンケート項目

中間アンケート項目	
運動に関する行動ステージを分類するための質問	
食事に関する行動ステージを分類するための質問	
実験を通じた意識の変化の有無	
実験を通じた行動の変化の有無	
実験を通じた体調の変化の有無	
健康指導アドバイスについて(頻度の適切性、アドバイスの的確性、アドバイスによる気持ちの変化)	
機器の操作性について(体重計の利用、体動計の利用、食事内容の入力、運動内容の入力、日常生活身体活動の入力、1日の振り返りの入力)	
実験に参加して良かった点	
実験で改善すべき点	
今後期待するサービス	
実験に関する感想	
継続利用意向	
希望利用額	
個人情報提供することへの抵抗感	
健康指導サービスを受けるにあたって、体重や食事履歴、運動履歴などの機微な情報を提供することに対する抵抗感	

表 4: 事後アンケート項目

事後アンケート項目	
実験を通じた意識の変化の有無	
実験を通じた行動の変化の有無	
実験を通じた体調の変化の有無	
健康指導アドバイスについて(頻度の適切性、アドバイスの的確性、アドバイスによる気持ちの変化)	
機器の操作性について(体重計の利用、体動計の利用、食事内容の入力、運動内容の入力、日常生活身体活動の入力、1日の振り返りの入力)	
実験に参加して良かった点	
実験で改善すべき点	
今後期待するサービス	
実験に関する感想	
継続利用意向	
希望利用額	
個人情報提供することへの抵抗感	
健康指導サービスを受けるにあたって、体重や食事履歴、運動履歴などの機微な情報を提供することに対する抵抗感	

本実験では 2 種類の方法で生成した健康指導アドバイスを提示した。1 つ目は管理栄養士の指導ノウハウをルール化したエキスパートシステムをリコメンデーションエンジンとして構築し日々アドバイス(日々のアドバイス)を提示した。2 つ目は一定期間の生活履歴に基づき健康意識の改善に向けた最適な行動変更を提示するアドバイス(中長期的なアドバイス)であり、本論文で提案するシステムである。中長期的なアドバイスは実験期間中に 1 回のみ提示した。

中長期的なアドバイスでは、属性情報と実験前半の行動情報、実験中盤に実施した中間アンケート(健康意識改善の有無)の結果のデータを基に、経済産業省情報大航海プロジェクトにて構築したマイニングツールである IGVcaep[IGVcaep]を用いて解析した。IGVcaep は CAEP[Dong 99] に基づいた 2 クラス分類器である。各クラスに顕在するパターンを抽出し、これをもとに分類木を構築するものである。CAEP では各クラスに特徴的な顕在パターンの列挙が計算上のボトルネックになっている。IGVcaep では顕在パターンの抽出に高速頻出パ

ンマイニングアルゴリズムである LCM[Uno 03] を用いることで、ボトルネックの解消を行っている。

IGVcaep では、データが離散的である必要があるため、表 5 に示されるように 13 の行動について、1 日ないしは 1 週間の量に応じてステージを 1~5 の 5 分割したものをを用いた。

表 5: 使用したデータ

No.	行動アイテム	ステージ 1	ステージ 2	ステージ 3	ステージ 4	ステージ 5
1	ウォーキング(日)	4000 歩以下	7000 歩以下	10000 歩以下	13000 歩以下	それ以上
2	摂取カロリー(日)	1500 以下	2000 以下	2500 以下	3000 以下	それ以上
3	運動量(週)	10Ex 以下	15Ex 以下	20Ex 以下	25Ex 以下	それ以上
4	有酸素運動(週)	0 分	30 分以下	60 分以下	120 分以下	それ以上
5	筋肉運動(週)	0 分	30 分以下	60 分以下	120 分以下	それ以上
6	タバコ(1日)	吸わない	5 本以下	10 本以下	20 本以下	それ以上
7	お酒(週)	0 日	1 日以下	3 日以下	5 日以下	それ以上
8	間食(週)	食べない	週 1 回以下	週 2-3 回	週 4-5 回	それ以上
9	夜食(週)	食べない	週 1 回以下	週 2-3 回	週 4-5 回	それ以上
10	朝食(週)	食べない	週 1 回以下	週 2-3 回	週 4-5 回	それ以上
11	運動の記録(週)	週 1 日以下	週 2 日以下	週 4 日以下	週 6 日以下	毎日つける
12	体重の記録(週)	週 1 日以下	週 2 日以下	週 4 日以下	週 6 日以下	毎日つける
13	食事の記録(週)	週 1 日以下	週 2 日以下	週 4 日以下	週 6 日以下	毎日つける

## 2.2 アドバイスに対する評価データ

提示したアドバイスを、以下の 5 つの評価軸でモニタに評価してもらう。本データはアドバイスの有用性の検証に用いる。

- アドバイスの実行指向性(実施したいと思ったか)
- アドバイスの実行可能性(実行するのは難しいか)
- アドバイスの期待効果(効果は期待できるか)
- アドバイスの目新しさ(目新しいものであったか)
- アドバイスの有用性(役に立ったか)

## 3. 健康意識改善のためのアドバイス(中長期的なアドバイス)の算出

### 3.1 概念

IGVcaep を用いた健康意識改善のためのアドバイス算出の概念を図 6 に示す。例えば、図 6 中のサンプル 1 は「女性で行動ステージを半年以内に改善するつもりある人」が、①体重データをあまり記録しない、②毎日の食事の量にばらつきがある、③有酸素運動の頻度が低い、という行動パターンを取っていたとする。IGVcaep により意識が改善するクラスと意識が改善しないクラスのそれぞれへの該当しやすさ(スコア)を計算すると、意識が改善するクラスのスコア(norm\_pos\_score)が 0.68、意識が改善しないクラスのスコア(norm\_neg\_score)が 0.56 となり、2 つのクラスの差が小さい。①~③の行動のうち意識改善のために改善するべき行動を算出するため、①~③の行動を 1 つずつ変更した行動パターン毎に再度 IGVcaep で各クラスのスコアを計算する。その結果、①体重データを記録すること、②毎日の食事量のばらつきを減らすことが意識の改善に効果があるという結果が得られた。

このように IGVcaep で算出される各クラスのスコアを用いると、意識改善のために変更すべき行動を算出することが可能である。

属性ごとの行動パターン改善効用値算出

サンプル1) 女性, 行動ステージ: 半年以内に改善→行動ステージ向上?

行動パターン			norm_pos score	norm_neg score
体重データ欠損数/多	主食量分散/大	有酸素頻度/少	0.88	0.58

何を改善すれば効果があるか

何を改善すれば効果があるか	体重データ欠損数	主食量分散	有酸素頻度
体重データ欠損数/多	0.88	0.58	0.58
体重データ欠損数/多	1.15	0.58	0.58
体重データ欠損数/少	2.30	0.58	0.00

サンプル2) 男性, 行動ステージ: 改善するつもりはない→行動ステージ向上?

行動パターン			norm_pos score	norm_neg score
アルコール合計/多	嗜好品合計/多	体重データ欠損数/多	0.00	0.58

何を改善すれば効果があるか

何を改善すれば効果があるか	アルコール合計	嗜好品合計	体重データ欠損数
アルコール合計/多	0.70	0.00	0.00
アルコール合計/少	0.00	0.58	0.58
アルコール合計/多	0.00	0.58	0.58

表 6: 健康意識改善のためのアドバイス算出概念

### 3.2 効果関数

IGVcaep で求められる各クラスのスコア (pos スコア, neg スコア) を元に, 行動変更による健康意識に対する効果を数値化する.

$n$  個の行動アイテムを  $I_1 \dots I_n$  とし, 行動の集合を行動パターンとする. 変更前の行動パターンを  $P = \{I_1, I_2, \dots, I_n\}$  とし, 行動  $I_i$  を行動  $I'_i$  に変更した変更後の行動パターンを  $P' = \{I'_1, I'_2, \dots, I'_n\}$  とする. 行動パターン  $P$  の正規化後 pos スコアを  $npos\_score(P)$ , 正規化後 neg スコアを  $nneg\_score(P)$  とする時, 行動パターン  $P$  を  $P'$  に変更したことによる効果関数  $U(P, P')$  を以下に定義する.

$$U(P, P') = \{npos\_score(P') - npos\_score(P)\} + \{nneg\_score(P) - nneg\_score(P')\} \quad (1)$$

ここで, 前項はプラスの効果の増加分, 後項はマイナスの効果の減少分を意味する.  $U(P, P')$  が大きいほど行動変更  $P \rightarrow P'$  の効果が大きい.

### 3.3 波及効果を考慮した効果関数

更に, 行動変更による波及効果を考慮した効果関数を定義する. 行動変更による波及効果とは, 例えば「ウォーキング増」により「運動量増」となることも想像可能である. この場合「ウォーキング増」が「運動量増」を誘発したと考える. 変更前の行動パターンを  $P$ , ウォーキングのみを増やした行動パターンを  $P_1$ , 変更による効果を  $U(P, P_1)$ , ウォーキングと運動量を増やした行動パターンを  $P_2$ , 変更による効果を  $U(P, P_2)$  とすると, ウォーキングを増やすことによる真の効果  $U_{real}(P, P')$  を,  $U(P, P_1)$  と  $U(P, P_2)$  の一次結合で表すこととする.

$$U_{real}(P, P') = (1 - \alpha)U(P, P_1) + \alpha U(P, P_2) \quad (2)$$

行動の波及効果は, ある行動により他の行動が起こる確率が高くなる「誘発」と, ある行動により他の行動が起こる確率が低くなる「相反」の 2 種類を考慮した. 考慮した波及効果の一覧を表 7 に示す. 相反の場合は  $P_1$  は誘発の原因となるアイテムを変更した行動パターン,  $P_2$  は相反の結果となるアイテムを変更した行動パターンとする.

### 3.4 行動変更許容度

更に, 行動変更に対する許容度も考慮する. 行動変更に対する許容度とは, 例えば「タバコは絶対に止められない」といっ

表 7: 考慮した行動間波及効果

アイテム/原因	関係	アイテム/結果	
ウォーキングを 1 段階上げる	誘発	運動量を 1 段階上げる	0.5
筋力運動を 1 段階上げる	誘発	運動量を 1 段階上げる	0.5
有酸素運動を 1 段階上げる	誘発	運動量を 1 段階上げる	0.5
間食を 1 段階下げる	誘発	摂取カロリーを 1 段階下げる	0.5
夜食を 1 段階下げる	誘発	摂取カロリーを 1 段階下げる	0.5
運動の記録を 1 段階上げる	誘発	運動量を 1 段階上げる	0.5
食事の記録を 1 段階上げる	誘発	摂取カロリーを 1 段階下げる	0.5
有酸素運動を 1 段階上げる	相反	筋力運動を 1 段階上げる	0.5
筋力運動を 1 段階上げる	相反	有酸素運動を 1 段階上げる	0.5

た行動変更に対する個人の意識を, 事前アンケートの中で聴取したものである. アドバイス決定の際には, 事前アンケートで「2:効果が著しいのであれば生活習慣を変えることも考える」「3:習慣を変えようと思っている」「4:既に変え始めている」に該当したアイテムのみを変更可能対象とした.

表 8: 行動変更許容度アンケート

行動変更	行動変更許容度
タバコを減らす	1:行動や生活習慣を変えるのは困難
お酒を減らす	2:効果が著しいのであれば生活習慣を変えることも考える。
食事の量を減らす	3:習慣を変えようと思っている。
間食/夜食を減らす	4:既に変え始めている。
朝食を摂る	5:該当しない(タバコをすわない, 飲酒・間食はしないなど)
ウォーキングを増やす	
有酸素運動を増やす	
筋力運動を増やす	
ストレッチを増やす	
運動の記録をつける	
体重の記録をつける	
食事の記録をつける	

### 3.5 最適変更行動の算出

最適変更行動は, 変更可能行動アイテムの中で, 行動変更効果が最大となる行動アイテムとすると, 以下の制約付最適化問題を解くことで得られる.

$$\begin{aligned} & \arg \max_{Q \in \text{PATTERN}} U(P, Q) \\ & \text{s.t. } \forall x . x \in P, x \notin Q, \quad 2 \leq C(x) \leq 4 \quad (3) \end{aligned}$$

ここで,  $\text{PATTERN}$  は変更可能行動パターンの集合,  $C(x)$  は行動  $x$  の行動変更許容度である.

## 4. 匿名化されたアドバイス

健康意識改善のためのアドバイスを提示する際に, 既にその行動改善を行っており効果の出ているモニタ (優良モニタ) の中で, 最も属性の近いモニタの情報も匿名化した上で同時に提示した. より具体的な他人の情報を提示することで, モニタの行動変化の動機付けになると考えたためである.

モニタ間の類似度は, モニタ属性をベクトル化したものの余弦で定義する.

他人の行動情報を提示には個人が特定されないよう匿名性を担保する必要がある. 本実験では匿名化手法のひとつである k-匿名化 [Sweeney 02] を用い, 年齢と家族構成を準識別子とし  $k = 1$  で個人が特定される場合に属性のあいまい化を行った.

上記方法により匿名化したアドバイスの例を表 9 に示す. Amazon 等ショッピングサイトの従来のソーシャルリコメンデーションでは商品アイテムのみの推薦を行っているが, 匿名化した他人の属性や行動を提示することで具体性が増し, 購買意欲を刺激するとも考えられる.

表 9: 匿名化されたアドバイス例

匿名化されたアドバイス例
摂取カロリーへの改善を既に実行しており、効果が現れているモニタの方は多数いらっしゃいます。例えば、あなたの属性に近いモニタとして、次のような方がいらっしゃいます。
モニタ A さん 運動行動ステージ:維持ステージ 食事行動ステージ:維持ステージ 年代:30代 家族構成:未婚家族同居 職業:内勤(オフィスワーク) タバコ:喫煙 趣味:スポーツ 旅行 ショッピング グルメ 料理
なお、あなたの現在の運動行動ステージは維持ステージ、食事行動ステージは準備ステージです。

## 5. 有用性の検証方法

提案手法によるアドバイスの有用性を検証するため、提案手法によるアドバイスに対する評価結果とルールベースのエキスパートシステムで生成したアドバイスに対する評価結果を比較した。提案手法によるアドバイス、ルールベースのアドバイスに対し、5つの評価軸別にクロス集計した後  $\chi^2$  検定を行い、有意に関連のある評価軸を確認した。また有意に差があった場合は、残差分析により各セル間の優位性を確認した。

### 5.1 有用性の検証結果

検証の結果、「実行可能性」と「目新しさ」の2つの軸が2種類のアドバイス生成方法と有意確率5%で関連があることが分かった。図10にアドバイス生成手法による評価の差を示す。図10から分かるように、提案手法によるアドバイスはルールベースのアドバイスと比較して、実行しにくい(難易度が高い)が目新しいという結果であった。これは、提案手法によるアドバイスはルールベースのアドバイスと比較して、生活の根本的な問題を提示している場合が多いため、改善するには難易度が高いものの、匿名化されたアドバイスと組み合わせると他の人の情報を提示することにより、モニタにとっての目新しさが増し、健康増進への動機付けに繋がると解釈できる。

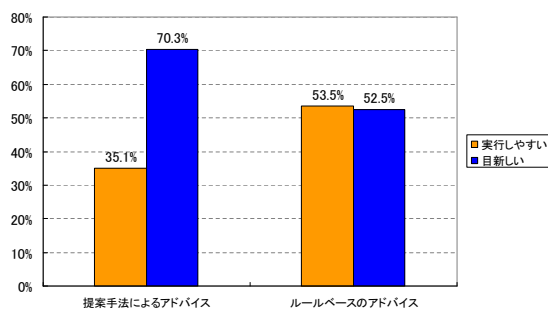


表 10: アドバイス生成手法による評価の差

## 6. まとめ

本研究では、個人の行動変更許容度と行動変更波及効果を考慮した健康生活支援推薦システムの開発・有用性の検証を行った。

IGVcaepで算出される各クラスのスコアを用いて行動変更の効果関数を定義、更に「誘発」と「相反」の2つの行動間波及効果を考慮し、行動変更による真の効果を数値化した。

また、ユーザにより受け入れられやすいアドバイスを生成するため、事前アンケートにより聴取した行動変更許容度を考慮したアドバイス生成モデルを構築した。

検証の結果、提案手法によるアドバイスは、ルールベースのエキスパートシステムにより算出したアドバイスと比較して目新しさが高いという評価が得られた。

スポーツジムや健康保険組合等における健康情報を活用した健康支援のためのサービスの展開に当たっては、継続的なサービスの利用を促すよう、ユーザにとってコンテンツが魅力的である必要がある。ユーザに目新しさや気付きを与えることは、コンテンツの重要な要素である。一方で健康指導サービスにおいては価値の高い専門的知識の提供も重要なサービスの1つになる。よって、専門家の知識を体系化したルールベースの健康指導アドバイスと、本研究で行ったような実際の行動履歴をマイニングすることにより得られた知見の双方を取り入れ、アドバイスのバリエーションを持たせることで、アドバイスコンテンツの魅力を増し、ユーザのサービス継続利用・健康意識の改善の動機付けに有効であると考えられる。

また、提案手法は個人の行動履歴データと行動変更の効果の度合いに基づいた新たなソーシャルリコメンデーション手法である。従来のソーシャルリコメンデーションでは、個人と他人の過去の行動履歴のみに基づいたりリコメンデーションを行っており、個人の目的や状況や効果は考慮されていない。本提案手法では、他人の行動履歴から個人の目的に合致したものの推薦を行い、行動変更許容度等の個人の状況を考慮してリコメンデーションの実現可能性を高めている。個人の嗜好や行動の多様化が進む中、よりパーソナライズされたりリコメンデーションのニーズは今後も高まるであろう。

## 謝辞

本研究は平成21年度経済産業省情報大航海プロジェクトの一環として実施したものである。

## 参考文献

- [Dong 99] G.Dong, X.Zhang, L.Wong, and J.Li, *CAEP: Classification by Aggregating Emerging Patterns*, Proceedings of the 2nd International Conference on Discovery Science, Tokyo, Japan (pp. 30-42). Springer-Verlag, 1999
- [Uno 03] T.Uno, T.Asai, H.Arimura and Y.Uchida, *LCM ver.2: Efficient Mining Algorithms for Frequent/Closed/Maximal Itemsets*, IEEE ICDM'04 Workshop FIMI'03 (International Conference on Data Mining, Frequent Itemset Mining Implementations), 2003
- [Sweeney 02] L.Sweeney, *k-Anonymity: A Model for Protecting Privacy*, International Journal on Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-based Systems, No.10(5), 557-570, 2002
- [GH] Google Health: <https://www.google.com/health>
- [IGV] 情報大航海プロジェクト: <http://www.igvpj.jp/>
- [IGVcaep] IGVcaep: <http://kgmod.jp/mcmd/index.php?igvcaep.rb>