

動的構造モデリングを用いた個人の意識構造の解明

An analysis of personal consciousness structure using Dynamic structure modeling

金城敬太^{*1} 市瀬龍太郎^{*2}

Keita Kinjo, Ryutaro Ichise

¹東京理科大学経営学部 ²国立情報学研究所

¹Tokyo University of Science, School of Management Sciences

²National Institute of Informatics

Abstract In this study, we propose a method to research and analyze the changes in the consciousness structure. There is a method to research and analyze the structure called structure modeling. However, the structure in time series has not been well analyzed. In this study, we call dynamic structure modeling, the process of analyzing the structure in time series. As a concrete case study, we analyzed the changes in the structure of anxiety before and after the earthquake in eastern Japan.

1. はじめに

2011年3月11日に起きた東日本大震災の影響で、さまざまな方面で影響が起きている。こうしたなか人々の意識構造に大きな変化がある。例えば、これまで不安の要因として組み込まれていなかった地震、さらには原子力発電所に対する不安が、時間の経過とともに人々のなかで大きな位置を占めるようになってきたと考えられる。こうした意識構造は、不安をより強く抱いたり、貯蓄を増加させるなど様々な心理・行動の面にも影響を及ぼす。

本研究はこのようなひとの持つ意識構造の変化の解明を目的としたものである。既存の研究でも、構造モデリングと呼ばれる、人が認識している因果構造を分析する手法は存在している[1]。また共分散構造分析のように個々の変数同士の相関をもとにその構造を調べる方法は存在している。しかし、変化する構造を動的に調査や分析をする手法はまだ確立されていなかった。

そこで本研究では、特に時間が経過するなかで変化する意識構造を調査し、分析する方法を提案する。ここで、時間によって変化する意識の構造のモデル化手法を本研究では動的構造モデリングと呼ぶ。本研究で扱う意識の「構造」とは、ある主体が複数のものごととの間に関係があると思っていること、特に因果関係があると思っていることを示す。

以下、2章では提案方法の概要を述べ、3章で具体的な調査と分析、4章では考察、5章では既存研究との比較を行い、6章では結果をふまえた結論を示す。

2. 提案方法の概要

提案する動的構造モデリングは、調査と分析の二つで構成されている。2.1では調査方法について、2.2では分析方法について述べる。

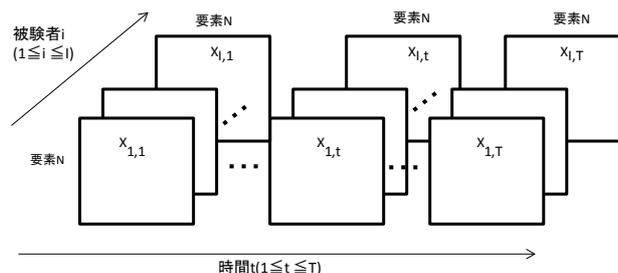
2.1 調査方法

はじめに個人に対して構造モデリングの一種でありバッテリー・ジュネーブ研究所で開発されたDEMATEL(DECISION MAKING TRIAL and EVALUATION LABORATORY)法で用いられている定量調査を時間に沿って複数回行う。DEMATEL法による調査では、まず複数の要因を予め列挙する。次に、それらの中から2つの要因を取り出し、被験者に対して、「ある要因Aが別の要因Bに影

響を与えているか否か(もしくはその程度)」について調査を行う。これをすべての組み合わせに対して行う。つまり一対比較を行っていきデータを作成する。具体的な事例については3.1章を参考にされたい。本研究では、この方法を拡張し、個人への対して一定期間内で繰り返し調査を行い、時系列で把握する。しかし、なんらかの事象があった後に行うこともあるために時系列による把握が困難な場合は想起方法を用いることもある(注1)。

ここで本研究で扱うデータについての形式化を行う。ある時点 t ($1 \leq t \leq T$) において被験者 i ($1 \leq i \leq I$) に対する、 N ($1 \leq n \leq N$) 個の要因同士の影響を調査した影響度 $x_{n,n}$ で構成されている $N \times N$ の行列 $X_{i,t}$ (対角行列は 0) を作成する。この $X_{i,t}$ はグラフで考えた場合、概念をノードとしたとき重み付きの隣接行列とし捉えることも可能である。また個人ごとの行列を $X_i = \{X_{i,1}, \dots, X_{i,t}, \dots, X_{i,T}\}$ とする。以上を図示化したのが図1である。

図1. データ



2.2 分析方法

変化する構造では、まず要因に着目し、どの要因が重要であり、その要因の位置づけ(特徴)がどう変化しているかを調べるというアプローチがある。また、具体的に各時点の要因間の構造の差を分析するという視点がある。

以上の二つの視点をふまえて下記の分析方法を提案する。

(1) 要因の特徴の変化の分析

本研究では各要因の全体の構造に対する位置づけを調べるために、DEMATEL法で利用される各時点の特徴量(影響度、中心度、原因度など)を全体で導出し[1][2]、その差を比較するという単純な方法を提案する。

具体的には、まず直接影響行列の計算を行う。直接影響行列とは、本研究では各時間 t ごとに各被験者の合計 $D_t = \sum_{i=1}^I x_{i,t}$ を作成したものを示す。これは全被験者をもとにした各要因からの直接的な影響の強さを表したものである。例えば、ある要因 A が要因 B へ直接どれくらい影響しているかを示している。このとき、 D_t の要因を $d_{t,n,n'}$ (インデックスの前者の n が行、後者の n' が列)とする。これをもとに正規化直接影響行列を求める。正規化とは、各行列の行和 $ad_{t,n} = \sum_{n'=1}^N d_{t,n,n'}$ を計算し、その最大値によって D_t を割ったものである。すなわち、 $A_t = D_t / \max\{ad_{t,n}\}$ となる。

次に要因 A が要因 B に影響し、さらに要因 B を経由して要因 C に影響するというように要因 A から要因 C へ間接的に影響していることを間接的影響と呼ぶ。これは、 A_t を n 乗することで計算される。正規化により、 $\lim_{k \rightarrow \infty} A_t^k = [0]$ となる。

直接的な影響に無限回の間接的な影響を加えた総合的な影響を示したものを総合影響行列と呼ぶ。これは、 $TA_t = A_t(I - A_t)^{-1}$ で計算される。個々の要因間の影響を $ta_{t,n,n'}$ とする。

このように計算された総合影響行列を利用して「影響度」「被影響度」「中心度」「原因度」という4つの特徴量と差を計算する。影響度とは、全要因に対してある要因がどの程度影響力を持っているかを示したものである。行和 $ad_{t,n} = \sum_{n'=1}^N ta_{t,n,n'}$ で計算され、影響度の差は、 $ad_{t,n} - ad_{t-1,n}$ で計算される。

被影響度は、他の全要因からどの程度影響を受けているかを示したものである。これは列和 $ad_{t,n'} = \sum_{n=1}^N ta_{t,n,n'}$ で計算され、被影響度の差は、 $ad_{t,n'} - ad_{t-1,n'}$ で計算される。

またある要因が他の要因とどの程度関連しているかという影響被影響の複合的な視点から中心度も計算される。これは両者を足した $C_{t,n} = ad_{t,n} + ad_{t,n'}$ で計算され、中心度の差は、 $C_{t,n} - C_{t-1,n}$ で計算される。

原因度とは、他の要因の影響ではなく独立的に影響を与えている程度であり、 $O_{t,n} = ad_{t,n} - ad_{t,n'}$ で計算され、負であれば主に影響を受けているものと解釈できる。原因度の差は、 $O_{t,n} - O_{t-1,n}$ で計算される。

いずれもベクトルとなる。なお、これらを被験者 i ごとに計算するという分析も考えられるが、本研究では全体を合計したうえで平均的な特徴の分析を行った。

(2) 構造変化の分析

どのような要素同士の関連構造が変化しているかということも考える必要がある。構造には、単純に「ある要因がある要因に影響がある」というだけのものから、「要因間の関係が木構造になっている」というものまで数多く存在している。特に不安に関しては、不安 A が不安 B 、さらに不安 C 、不安 C が不安 A に影響するというように、因果関係に不安の「ループ構造」が生じている場合、不安がより強くなる可能性がある。ただし、これらすべての構造を列挙するのは探索に計算時間がかかるため、仮説検証的にある特定の構造があるかないかを調べる方法を考える。

そこで本研究では、帰納論理プログラミング(Inductive Logic Programming)[2][3]を利用した差の検出方法を提案する。このような差の検出は[4]などでも行われている。ILPとは論理プログラミングをもとにした機械学習器であり、正例と負例および背景知識を与えたときにそれらを説明する仮説を学習するものである。ここでILPの論理設定を述べると、

Given: $E = E^+ \cup E^-$, BK

Find: H s.t. $BK \cup H \models E^+$, $BK \cup H \cup E^- \not\models \square$

ここでBKは背景知識、Hは仮説とする。正事例 E^+ は正事例、 E^- は負事例であり、上記の条件を満たすHを発見することが設定となっている。

以上をふまえ、本研究における背景知識BKとしては、各被験者ごとのリンク情報を入れる。すなわち、時間 t において被験者 i が要因 n から要因 n' に影響があると答えている場合、

link(時間 t 被験者 i , 要因 n , 要因 n').

と記述しBKに追加する^(注2)。

また正事例 E^+ として t 期の被験者 i をpeople(時間 t 被験者 i)と記述したうえで与える。一方、負事例 E^- はpeople(時間 $t-1$ 被験者 i)として与える。

また、仮に3要因のループ構造があるか否かを学習したい場合は、仮説としてrlinkを設定し、背景知識BKに以下を加える。

rlink(時間 t 被験者 i , 要因 n , 要因 n'):-

link(時間 t 被験者 i , 要因 $n1$, 要因 $n2$),

link(時間 t 被験者 i , 要因 $n2$, 要因 $n3$),

link(時間 t 被験者 i , 要因 $n3$, 要因 $n1$),

$n1 \neq n2, n2 \neq n3, n1 \neq n3$.

以上のような設定を用いて、ある時間 t と $t-1$ における違いを説明する仮説として変化の構造が分析可能となる。

3. 分析事例

続いて、具体的に本研究で提案した方法を用いて意識構造の変化の解明を行う。テーマとして、本調査では東日本大震災という災害を経て、東北や自分自身における地震や事故への意識、特に複数の不安同士の間構造がどのように変わり、どのように行動に影響するかを調べる。これにより、今後不安とその行動との関連を把握することができ、その解消の一助ともなると考えられる。

3.1 調査設計

調査設計について述べる。時期については、2011年11月04日~2011年11月07日に行った。また、インターネット調査を利用した。加えて、480名に調査を行った。全国20歳以上69歳以下の男女で、国勢調査に基づいた10歳刻み男女・地方ごとの人口構成比に合わせた。

時系列は、地震前・地震直後・現在(11月)の3時点と設定した。ただし、把握するためには、個人に対して時期ごとに複数回の調査を行う必要があるが、今回、震災前のデータを取得することができなかったため想起方法を用いて、地震前、地震直後、そして現在(11月)の3時点における構造の違いを扱った。想起を利用している点には注意が必要である。

次に調査票に関して(a)不安項目の作成、(b)不安同士の関連の影響の強さの測定方法について述べる。なお、それ以外の質問項目として、個々の不安の程度、個々人の属性、震災後における行動に関する調査も行ったが本論とは関係がないため記述しない。以下では詳細を述べる。

(a) 不安項目の作成

不安については、世の中には多くの不安が存在するがすべてを調査するには限界があるため限定が必要である^(注3)。これらは回答の負担を下げる目的もある。そこでまず不安となる対象の質的・スケールによる違いから「個人的不安」、「個人間の不安」、「企業(や組織)に対する不安」、「政府の不安」、「社会全体の不安」、「自然災害・事故などの外部不安」の六つに分類した。

そのうえで、個人的不安については経済等の収入面での不安および健康などに関する不安に細分化した。個人間に関しては、

言い換えれば人間関係に関する不安である。これは、震災以降であるため特に場所に関連した人間関係は分離する必要があるとして、家族や知人(会社も含む)などのシステムによる関係と、場所に関連する近所の人間関係に大きく分類した。企業と政府については個人に直接影響のあるものとして特に経済的な不安に関する項目を取り上げた。社会全体の不安としては今日大きく取りざたされている少子高齢化および、年金なども含めた社会保障制度の破たんを採用した。これらに加えて震災後の大きな不安の構成要因となっている、自然災害と原子力発電所の事故に対する不安に細分化させた(表1)。

表1. 不安に関する項目

大項目	中項目	小項目
不安	個人的不安	自分や家族の雇用環境・収入悪化
		自分や家族の健康悪化
	人間関係の不安	家族や友人との人間関係の悪化
		お隣や町内会など近所に住む人間関係の悪化
	企業の不安	民間企業の収益の悪化
	政府の不安	政府の財政の悪化
	社会全体の不安	社会保障制度の破たん
		少子高齢化社会の進行
	自然災害・事故など外部不安	地震、津波や土砂崩れなどの自然災害
		原子力発電所での事故の影響

(b) 不安同士の関連の影響の強さの測定

影響については、表1で挙げた不安の小項目の中から2つの不安を抜き出したうえで、「不安 A が不安 B に影響している」と考えているか否かについて調査し、さらに影響があると考える場合は1~5の5段階尺度で影響の程度を回答をさせた。これらをすべての不安の組について行った。因果的に不可能な組み合わせも存在しているがすべての組み合わせについて調査を行っている。

また地震前、地震直後、現在についてそれぞれ想起させ、各時点における考えを上記のように回答させた。

3.2 分析結果

はじめに、2.2の(1)で示した分析の結果を述べる(表2)。直接影響行列を計算したのちに、それを利用して特徴量とその差を比べた。正規化直接影響行列を可視化したものを(補遺)に記載している。なお、関連なしと答えた場合は0とし、それ以外を1~5で評価させうえてその得点を利用している。また組み合わせとして因果的に不可能なものも排除せずに利用している。

まず影響度とその差をみる。影響度の上位と下位をみると、震災前・震災直後・現在ともに「政府の税政の悪化」「地震、津波や土砂崩れなどの自然災害」「原子力発電所での事故の影響」がある。差の上位では、直後と前ではこれらの値が増加している。また直後と現在では「自分や家族の雇用収入」などが低下しているほか自然災害や原子力発電所事故の影響も低下している。

被影響度とその差をみる。被影響度の上位をみると、震災前・震災直後・現在いずれも「民間企業の収益の悪化」「政府の財政の悪化」「社会保障制度の破たん」がある。震災前と震災直後で差をみると「民間企業の収益の悪化」「政府の財政の悪化」「少子高齢化社会の進行」などが増加している。一方、直後と現在の差をみると、自然災害や原子力発電所事故の被影響度が低下している。

最後に中心度と原因度について述べる。これらは、前者は被影響度、後者は影響度と似た構造になっている。ただし、差をみた場合、中心度や原因度において、震災後と現在の差では「自分や家族の雇用環境・収入悪化」の程度が低下している。

続いて、ローカルなルールとしてどのようなものが存在しているかの検出を2.2の(2)を用いて行った。実装では aleph を利用した[5]。なお、単なるリンクルールの他に特殊な構造の仮説としてループ構造に関する仮説も検証が可能ないように設定した。

結果、地震前と地震直後の間において次のルールが差として検出された。

rlink(X,自分や家族の雇用環境・収入悪化,
自分や家族の健康悪化,
お隣や町内会など近所に住む人間関係の悪化).
(ただし、480事例うち59事例のみ説明)

こうした結果は、一部のひとにおいて震災後、不安のループが形成されていることを示している。

4. 考察

本研究における動的構造モデリングの結果として、自然災害や原子力発電所事故、さらに政府の財政をもと、民間企業の収益悪化や社会保障制度の破たんに影響があるという不安の構造になっていた。地震直後にはこうした傾向がより強まったが、地震直後と現在においてはやや影響が低下していることが分かった。また、より詳細な不安の構造として、一部のひとに自分や家族の収入悪化と健康悪化、さら人間関係の3つの間にループ構造があることが明らかとなった。比較的、自分自身の身の回りに対する不安においてループが発生しているといえる。こうした不安の構造は、結果として不安の原因を探るとともに不安の悪化をまねくひとつの要因を明らかにしたといえる。

ただし、課題として、上記のような構造が具体的に不安の程度にどれくらい影響があるかの検証が行われていない。そのため仮に不安の低下などを政策的な目的にした場合は、こうした「不安の程度」との相関を計測する必要がある。これらを行うために不安の程度を利用してネットワーク自己相関などを計算することや要因の重要度を考慮した複合重要度[6]を考慮することも必要であろう。

また、方法論的な観点からは、構造モデリングの拡張として時間的な差を取り扱った動的構造モデリングを行い、実際に問題の構造を把握する際に利用できることを示した。ただし、さきほ

表 2. 3時点における各不安の特徴量およびその差

不安	震災前				震災直後				現在				[震災直後]-[震災前]				[震災直後]-[現在]			
	影響度	被影響度	中心度	原因度	影響度	被影響度	中心度	原因度	影響度	被影響度	中心度	原因度	影響度	被影響度	中心度	原因度	影響度	被影響度	中心度	原因度
自分や家族の雇用環境・収入悪化	1.05	1.64	2.69	-0.59	1.15	1.83	2.98	-0.68	0.95	1.75	2.70	-0.80	0.09	0.19	0.28	-0.09	-0.19	-0.08	-0.27	-0.11
自分や家族の健康悪化	0.70	1.03	1.73	-0.34	0.84	1.22	2.06	-0.38	0.78	1.17	1.95	-0.39	0.14	0.18	0.32	-0.04	-0.06	-0.05	-0.11	-0.01
家族や友人との人間関係の悪化	0.52	0.75	1.28	-0.23	0.58	0.85	1.43	-0.27	0.58	0.83	1.40	-0.25	0.06	0.10	0.16	-0.04	0.00	-0.03	-0.03	0.02
お隣や町内会など近所に住む人間関係の悪化	0.41	0.63	1.04	-0.21	0.49	0.68	1.17	-0.19	0.46	0.65	1.11	-0.18	0.08	0.06	0.13	0.02	-0.03	-0.03	-0.06	0.00
民間企業の収益の悪化	1.72	1.75	3.47	-0.03	2.03	2.03	4.05	0.00	1.95	1.93	3.88	0.02	0.31	0.28	0.58	0.03	-0.08	-0.10	-0.17	0.02
政府の財政の悪化	2.10	1.97	4.07	0.13	2.29	2.24	4.52	0.05	2.22	2.14	4.36	0.08	0.19	0.27	0.45	-0.08	-0.07	-0.10	-0.17	0.03
社会保障制度の破たん	1.82	1.94	3.75	-0.12	1.98	2.17	4.15	-0.19	1.90	2.09	3.99	-0.19	0.16	0.24	0.40	-0.07	-0.08	-0.08	-0.16	0.01
少子高齢化社会の進行	1.59	1.59	3.18	-0.01	1.72	1.85	3.57	-0.13	1.68	1.82	3.50	-0.13	0.14	0.23	0.39	-0.12	-0.04	-0.03	-0.06	-0.01
地震、津波や土砂崩れなどの自然災害	1.87	1.10	2.96	0.77	2.26	1.32	3.58	0.95	2.17	1.20	3.37	0.98	0.40	0.22	0.61	0.18	-0.09	-0.12	-0.21	0.03
原子力発電所での事故の影響	1.84	1.21	3.06	0.63	2.27	1.43	3.69	0.84	2.16	1.30	3.46	0.86	0.43	0.21	0.64	0.21	-0.11	-0.12	-0.24	0.01

ども述べたように実際にパネルデータとして時間ごとに調査を行う必要がある。また、個々人の構造の違いの細かい分析に ILP を利用できることを示した。これらは特殊な因果構造を抽出するのに利用可能である。

また統計的な時系列モデルのように時間的な相関構造を仮定したものではなく、単に差異として検出していることに注意しなくてはならない。またより高速な検出方法として、グラフマイニングやグラフ回帰などの利用も考えられる。

5. 既存研究

既存研究と本研究の動的構造モデリングとの違いを述べる。調査、分析、応用の点から既存研究と比べて以下のような特徴を持っている。

まず、調査方法として、構造モデリングの時系列への拡張という点でこれまで行われてこなかった研究である。既存の研究では、様々な集団における構造の違いの研究はなされてきた[7]。また ISM(Interpretive Structural Modeling)という方法では時系列への拡張についての試みはあるが[8]、調査や分析の方法論を含めた構造モデリングの時系列への拡張は十分に行われてこなかった。しかし、問題をどうみるか、どう捉えているかなどの意識的な構造は一定ではなく、時間とともに変化しており、その変化に応じてひとの行動も変化するため、これらの分析やその変化の原因の特定等は必須の課題である。

続いて、分析方法として、これまで DEMATEL 法では特徴量の算出を行うことやそこに MDS(Multi-dimensional scaling)などの統計処理を行う方法が多かった。しかし、本研究では DEMATEL 法による特徴の時間的な差をみるのが特徴として挙げられる。

また他の分析法の違いもある。変数間の共分散をもとに予めたてた仮説などを検証する共分散構造分析とは異なり、直接変数間の関連を対象者に調査している。背後にある因果構造よりも実際にどのように人が認識しているかに焦点をあてている点に違いがある。そのため必ずしも変数の程度に相関が成立するとは限らないことに注意されたい。

テーマとしても重要であり数多くの研究がある。不安は、我々の生活でも用いられることが多いが、心理学においては不安は、『心理学辞典』によれば、「自己存在を脅かす可能性のある破局や危険を漠然と予想することに伴う不快な気分のこと」とされている[9]。社会心理学や臨床心理学などの領域でも研究があり、例えば「状態-特性不安モデル」などが提案されている。本研究は、これらと異なり不安同士の関連に着目したものといえる。

応用としては、竹村らが指摘しているように、今日食の安全のみならず、自然災害などリスクが注目されているリスク社会において安心や不安についての知見は重要である[10]。さら日本人のリスク回避度の高さが指摘されており、これも不安に関連していると考えられる[11]。不安の構造の研究についての研究は相関を用いたものなどいくつかあり、DEMATEL 法による研究も行われている[6]が、本研究は具体的に因果的な結びつきがどう変化するかを分析している点が異なっている。

6. 結語

本研究では、時間によって変化する意識についての構造を分析するために動的構造モデリングと呼ばれる調査およびその分析方法を提案した。結果として、不安の構造変化を分析したほか、不安のループなどの特殊な構造の検出ができた。

このように人が「どのように問題構造を捉えているか」に焦点をあてたものといえる。一方で、データ構造が複雑になるため、分

析が難しい部分もある。今後はより発展的な分析として、属性による差異の検出、考察でものべたように不安の程度にどう影響があるかをネットワーク自己相関により解析を行うほか、テンソル解析などの利用も行う予定である。

注1. 本来は時間ごとに同一の回答者に対して、調査するのが望ましい。

注2. 本研究では、時間と被験者の id を統合したインデックスを作成し、割り振っている。

注3. 自由回答などを用いて調査する方法も考えられる。

謝辞

本研究の調査は、東京理科大学の奨励助成金を用いました。

参考文献

- [1] 田村坦之:構造モデリング—理論とアルゴリズムを中心に—, 社団法人計測自動制御学会, 計量と制御, 18(2), pp170-179(pp28-37), 1979
- [2] Muggleton, S., Raedt, L.D.: Inductive logic programming: Theory and methods, Journal of Logic Programming, 19, pp.629-679, 1994
- [3] 古川康一, 植野研, 尾崎知伸:『帰納論理プログラミング』, 共立出版, 2001
- [4] 金城 敬太, 尾崎知伸, 相澤彰子:調査データに基づく社会構造変化の抽出: 集団間のネットワークの定性分析と帰納論理の適用, 人工知能学会論文誌, 25(3) 452-463, 2010
- [5] A.Srinivasan The Aleph Manual. <http://www.comlab.ox.ac.uk/oucl/research/areas/machlearn/Aleph/>, 1999
- [6] 赤沢克洋, 永田春菜, 田村坦之:安心・安全社会の創造を目的とした不安要因の抽出と構造モデリング, 生活経済学研究 18, pp.201-209, 2003
- [7] 諸洋子, 星野敏:DEMATEL 法による農村女性起業グループ活動の多面的効果の構造把握, 農村計画学会誌, 23, 151-156, 2004
- [8] 金澤伸昭 ほか 4 名:ISM 自動作成に基づく問題構造の時系列変化の抽出, 情報処理学会'第 68 回全国大会, 2008
- [9] 中島義明, 宇安 増生, 繁樹算男(編集), 『心理学辞典』, 有斐閣, 1999
- [10] 竹村和久, 松井豊, 大庭剛司, 宇井美代子, 高橋尚也, 磯部綾美, 久富哲兵:安心と不安の社会心理 (I) — 調査の概要 —, 日本社会心理学会第 46 回大会発表論文集, 2005
- [11] 上市秀雄, 楠見孝:パーソナリティ、認知、状況要因がリスクテイキング行動に及ぼす効果, 心理学研究, 69(2), 81-88, 1998

補遺: 3時点の構造の違い(平均が2点以上にリンク. 実線: 震災前, 点線: 震災直後に追加, 太線: 現在追加)

