

DEAの大規模問題適応システムの構築とそれを用いた 土砂災害危険箇所順位の設定

Construction of the large scale problem adaptation system of DEA,
and a setup of the sediment-related disaster dangerous place ranking using it

因幡雄起*1
Yuuki INABA

大石博之*2
Hiroyuki OHISHI

杉原成満*3
Shigemitsu SUGIHARA

竹本大昭*4
Hiroaki TAKEMOTO

古川浩平*5
Kohei FURUKAWA

Abstract

Contrary to expectation, there has not been much progress to date as far as the construction of countermeasures against sediment-related disasters is concerned. In order to advance these construction projects efficiently, it is important to examine the risk-ranking of dangerous spots for sediment-related disasters in order to determine construction priorities. However, there is currently no unified analytical technique to address this issue and this poses a problem to each self-governing body. As a method to solve this problem, the risk-ranking determination method for public works using Data Envelopment Analysis (DEA) is proposed. However, since DEA is an analytical method that searches for the relative efficiency of data, one of its drawbacks is the long computational time. In order to perform an investigation involving a large number of data, such as in the analysis of dangerous spots for sediment-related disasters, it is therefore necessary to examine the new calculation model for the purpose of increasing its processing efficiency.

In this study, a distributed computational model that enabled the processing of large amount of data by DEA was examined. Moreover, this computational model was applied to the determination of ranking of dangerous spots within Yamaguchi Prefecture regarding sediment-related disasters.

Key words : Data Envelopment Analysis, sediment-related disaster, calculation model

1. はじめに

土砂災害を対象とした防災対策事業は、全国18万箇所以上といわれる¹⁾対象箇所数の膨大さに阻まれて思うような進展がはかれていないのが実情である。そのため、対象箇所の優先順位を十分に検討することで効率的な事業展開を行うことが不可欠であるとされているものの、現在優先順位付けの手法に関する統一的な見解は無く、各地方自治体においても判断に苦慮している状況である。

特にこの問題を難しくしている理由として、土砂災害危険箇所の順位を決定するための要因が一元的なものではないことが挙げられる。各箇所が潜在的に有している災害発生の危険度が順位を決定するための重要な要素であることは疑う余地は無いが、現実的な事業採択を行う

上では各危険箇所に存在する保全対象等の数や重要度も無視できない要因となってくる。しかも、両者の順位付けにおける重要性については、どちらが上という明確な規範が無いという点が最も大きな問題となる。災害の発生の危険度が非常に高い箇所については、例え保全対象数が少なくても早急に対策がとられるべきであるし、また逆に危険度は若干低くとも万が一の災害発生には甚大な被害に見舞われる可能性のある病院・老人ホーム等の保全対象を抱える箇所についても同様に対処すべきである。このように、災害危険箇所の順位付けに際してはそれぞれの箇所が抱える「事情」を最大限に考慮したうえで公平な評価がなされなければならない、非常に高度な判断を技術者・行政担当者に強いることとなる。また、数学的手法によって大量データを統計的に処理して順位を

*1 正会員 山口県土木建築部砂防課 Member, Yamaguchi Prefectural Government *2 正会員 山口大学工学部社会建設工学科 (現所属: 西日本技術開発株式会社) Member, Department of Civil Engineering, Faculty of Eng. Yamaguchi Univ. (Now in West Japan Engineering Consultants, Inc.) (h-ohishi@wjec.co.jp) *3 山口大学大学院理工学研究科 (現所属: 中電技術コンサルタント株式会社) Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi Univ. (Now in Chuden Engineering Consultants Co., Ltd) *4 正会員 株式会社エイトコンサルタント Member, Eight Consultants Co., Ltd *5 正会員 山口大学工学部社会建設工学科 Member, Department of Civil Engineering, Faculty of Eng. Yamaguchi Univ.

算出する場合でも、単純に要因間の重みを決定して点数化するような手法では上記したような各箇所の「事情」の全てに公平に対処することは不可能となり、適当ではない。

このような問題を解決可能な手段として、包絡分析法(Data Envelopment Analysis:以下 DEA)を用いた方法が提案されている^{2),3)}。DEAによる順位設定は、順位を決定する要素となる要因データの重みを固定せず、それぞれの箇所が最も有利に評価される重み付けを行った上で他所との比較を行うことで順位を決定するものである。これは、災害の危険箇所が抱える様々な「事情」(例えば「非常に災害の危険性が高い」ことや、「災害時要援護者関連施設を多数有する」こと等)を最大限に評価した上で順位の設定を行うことになるため、高い公平性があり行政判断について不可欠となった説明責任をも十分果たすことが可能な方法であるといえる。

そこで、本研究ではこのようなDEAの利点に着目し、山口県を対象として実際に土砂災害危険箇所(地すべり危険箇所、急傾斜地崩壊危険箇所、土石流危険渓流)の順位付けに取り組むこととした。山口県内の土砂災害危険箇所は総数で約22,000箇所に及ぶため、元来計算に時間を要するDEAを用いた場合の処理時間は莫大なものとなる恐れがあるが、大規模データを分割処理できる計算モデルを検討し、それを導入することで効率的な順位設定に成功した例について報告する。

2. DEAの基本概念

DEAは、解析する各事業体(Decision Making Unit:以下DMU)の比率尺度が最大となるように各項目に対して最適な重み付けを行い、相対的効率性を測定する手法である^{4),5)}。

DEAの評価は、効率的なDMU(図-1中の点A,C,D)を結ぶ包絡線(効率的フロンティア)を基準とした比率尺度が用いられ(図-1中の点Bを例にとるとOB/OPで求められる値)、この比率尺度が大きいDMUほど効率的と判断される。

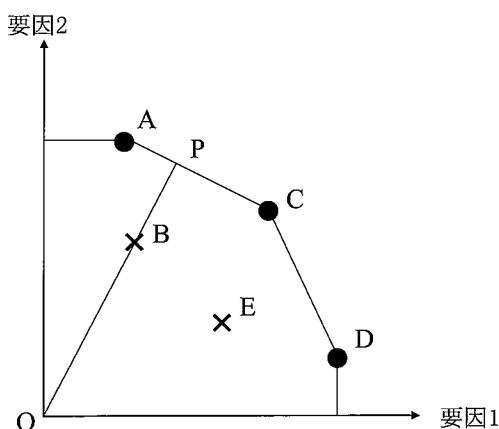


図-1 DEAの概念図

Fig.1 The conceptual figure of DEA

3. 使用データと計算モデル

3.1 使用データ

実際の山口県内に存在する土砂災害危険箇所(地すべり危険箇所、急傾斜地崩壊危険箇所、土石流危険渓流)それぞれを対象に、DEAによる順位設定を行った。危険箇所数の内訳を表-1に示す。本稿では急傾斜地崩壊危険箇所についてはランクIを、土石流危険渓流については渓流Iを対象とした分析の結果を示す。

順位設定に用いる要因は、箇所毎の危険度と保全対象の状況を網羅した4要因(危険度、人家戸数、公共施設数、災害時要援護者関連施設数)とし、全ての災害種類に対して共通して用いることとした。ここで、箇所毎の災害発生の危険度に関しては、既往文献⁶⁾を参考に発生得点法を用いて算出したものを用いた。保全対象の状況については各危険箇所の調査カルテ^{6),7),8)}に記載されているデータを利用した。

また、全要因を公平に評価するという観点から、各要因データを生値のまま用いるのではなく、次式を用いて標準化することとした。

$$N_{ij} = 50 + 10 \frac{y_{ij} - \mu_i}{\sigma_i}$$

(N_{ij} :標準化値, y_{ij} :データ生値, μ_i :平均値, σ_i :標準偏差)

3.2 計算モデル

本研究で用いたDEAの計算モデルは、効率的フロンティア上のデータについても順位が決定できる超CCRモデル^{9),10)}を基本とし、効率的フロンティア上のデータの直下に隠れているデータについても正しく評価できるように考慮された繰り返し計算^{2),3)}の方法を取り入れたものを採用した。

また、本稿の分析では領域限定モデル^{10),11)}の概念も取り入れることとし、その限定量は5%とした。これは、土砂災害危険箇所の順位を検討する上で、ある1要因のみに極端に偏った重み付けがなされて評価が行われるこ

表-1 山口県内土砂災害危険箇所数一覧

Table 1 The list of the numbers of sediment-related disaster dangerous places in Yamaguchi

危険箇所種別		危険箇所数
地すべり危険箇所		285
急傾斜地崩壊危険箇所 (自然斜面)	I	3533
	II	9265
	III	985
急傾斜地崩壊危険箇所 (人工斜面)	I	332
	II	286
	III	22
土石流危険渓流	I	2646
	II	3506
	準	1350

とが適当でないと判断したことによる。例えば、危険度は低いが保全対象数が非常に多い箇所が存在した場合、保全対象の要因にのみ重みが掛けられて上位に順位付けされる可能性が考えられる。このような例では、本来「危険度が低い」ということも評価された上で順位が決められるべきものといえ、領域限定モデルによる分析が適するものと考えられる。

4. 大規模データ処理のための計算モデルの考案

DEAを用いた分析では、個々のデータについてその他全てのデータとの相対比較が行われる。さらに本研究で用いたような繰り返し計算を行う場合には、データの数だけこの比較計算が繰り返されることとなる。このため、土砂災害危険箇所のような大量のデータを対象とした場合、解析に莫大な時間を要するという難点があった(以下大規模問題)。本研究では、この大規模問題を効率的に処理可能とする新しいデータ分割型の計算モデルの検討を行った。

4.1 予選-決勝モデルの検討

大量のデータを効率的に解析するためには、分割処理による計算モデルの導入が最善と考えられる。しかし、DEAでは各データとその他のデータとの相対比較により効率性(順位)が求められるため、データの母集団を安易に分割して分析を行うことは適切でない。そこで、図-2に示すような形態での分割処理による計算モデルを考案した。

これは、母集団をいくつかのデータ集合に分割した後、各データ集合の効率的フロンティア上のデータ(以下、優位データ)を特定し、それらのデータを集めて更にその中から最も効率的なデータを特定することにより元の母集団の効率的フロンティアを特定しようという計算モデルである。これは、データのふるいわけを目的とした“予選”を勝ち抜いたデータのみを集め、さらに“決勝”

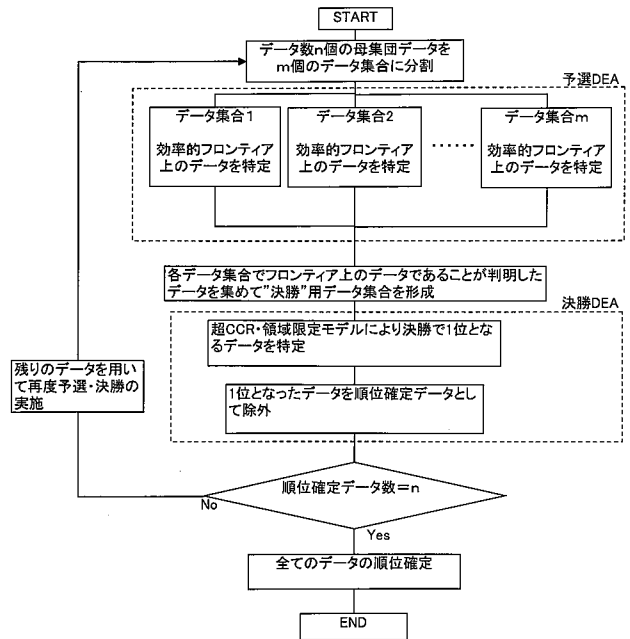


図-2 予選-決勝モデルのフロー Fig.2 The flow chart of “a primary and the final” model

分析により効率的フロンティアを特定する勝ち抜き式の計算モデルとイメージすることができる。よって、以下このモデルを「予選-決勝モデル」と呼称する。

このモデルを適用するためには、分割処理を経てもフロンティアの特定が可能であることが絶対条件となる。そこで、実際の山口県の土砂災害危険箇所データのうち、比較的データ数が少なく通常の計算モデルでも処理可能な地すべり危険箇所のデータ(データ数285個)を使用し、予選のデータ数を50個とした場合の試験解析を行った。結果を表-2に示す。ここに示されるとおり、予選-決勝モデルで特定した効率的フロンティアは、分割を行わなかった場合と比較してデータ、比率尺度とも完

表-2 効率的フロンティアの比較 Table 2 Comparison of an efficient frontier data

(a) 分割無し							
ID	郡市	市町村	危険度	人家戸数	公共施設数	災害時要援護者関連施設	比率尺度
191	下関市	下関市	0.789	469	11	1	1.14802
254	大津郡	油谷町	10.470	143	5	2	1.12282
30	玖珂郡	錦町	8.980	240	12	2	1.11833
32	玖珂郡	錦町	10.040	266	11	1	1.01874
(b) 予選-決勝モデル(決勝DEA時)							
ID	郡市	市町村	危険度	人家戸数	公共施設数	災害時要援護者関連施設	比率尺度
191	下関市	下関市	0.789	469	11	1	1.14802
254	大津郡	油谷町	10.470	143	5	2	1.12282
30	玖珂郡	錦町	8.980	240	12	2	1.11833
32	玖珂郡	錦町	10.040	266	11	1	1.01874

表-3 設定順位が整合しない例
Table 3 The example which setting ranking does not adjust

ID	市町村	危険度	人家戸数	公共施設数	災害時要援護者関連施設	順位 (分割なし)	順位 (分割)
118	徳山市	7.840	24	1	1	54	54
241	日置町	10.490	40	2	0	55	56
213	豊北町	10.300	48	2	0	56	57
116	徳山市	9.770	102	2	0	57	58
250	油谷町	10.630	21	1	0	58	60
268	油谷町	9.380	54	3	0	59	61
193	下関市	9.710	139	1	0	60	62
194	下関市	9.550	137	1	0	61	63
234	日置町	9.640	130	0	0	62	64
76	上関町	9.290	134	1	0	63	65
110	徳山市	8.980	116	2	0	64	66
22	豊北町	8.810	92	3	0	65	59
147	防府市	7.820	121	3	0	66	55
103	大島町	8.540	118	2	0	67	67

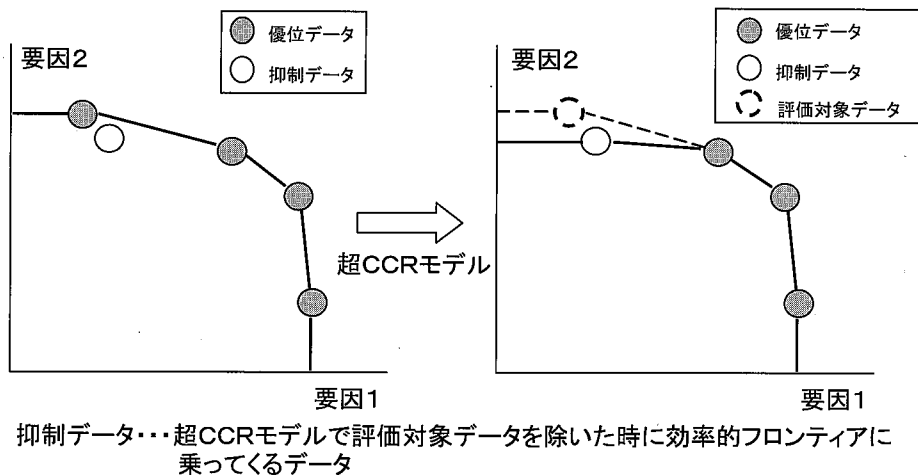


図-3 抑制データ概念図
Fig. 3 The conceptual figure of control data

全に一致していた。優位データが判明すれば、超CCRモデルに従いフロンティアデータの中での1位を決定し、以後予選・決勝を繰り返すことですべてのデータの順位を決定することが出来る。

そこで、予選・決勝モデルを取り入れた超CCR・領域限定・繰り返し計算モデルを用いて地すべり危険箇所の順位設定を行ってみると、55位~66位周辺で一部整合が取れない現象が生じた(表-3)。これは、超CCRモデルのデータ評価方法の特徴に起因した現象であることが判明した。超CCRモデルにおいては、優位データの中で優劣を付けるため、評価データ自身を除いたデータ集合でフロンティアを形成し、それを用いて比率尺度を求めることが行われる。この時、他の優位データだけでなく、評価対象のデータをフロンティアから除いた場合に初めて効率的フロンティア上に乗るデータ(以下、

抑制データ)も分析に加える必要があるということである(図-3)。再び図-2のフローに着目すると、予選時には分割したデータ集合の優位データのみが特定されており、抑制データが決勝データに加えられていないことから、決勝順位が正しく決定できなかったものと考えられる。そこで、予選時のデータ抽出を優位データのみでなく抑制データも加えるように計算モデルを修正した(図-4)。

4.2 予選-決勝モデルの有効性の検証

修正した予選-決勝モデルを使用し、再度地すべり危険箇所の順位設定を試みたところ、順位は分割処理をしない場合と完全に一致することが確認できた。このことから、この予選-決勝モデルを用いてデータを分割処理することにより、大規模なデータを対象とした解析を効率的に行うことが可能であることが明らかとなった。問

題であった解析時間についても、表-4に示す通り大幅に改善することが出来た（いずれも超CCRモデルで繰り返し計算、領域限定5%での結果）。特に並列計算機を利用した場合には、予選にあたる部分の計算を複数台のPCに分散して処理することが可能となるため大きな効果を挙げる事が出来た。

5. 土砂災害危険箇所を対象とした

優先順位の設定

前章で検討した予選-決勝モデルを利用して、山口県の土砂災害危険箇所の順位設定を試みた。計算に要した時間は最もデータの多かった急傾斜地崩壊危険箇所（自

然斜面ランク I：3,353箇所）で約8時間程度であった。

設定した災害別の危険箇所順位の上位15位までを表-5(1)~(3)に示す。表-5(2)の土石流危険渓流を例にとると、1位となったID：145地点は非常に多数の人家に加え公共施設・災害時要援護者関連施設が共存し、かつ平均以上の危険度を有している箇所である。これに対し、2

表-4 解析時間の比較
Table 4 Comparison of analysis time

DEA モデル	通常 DEA	予選-決勝モデル	
		PC	並列計算機
解析時間	24 時間	3 時間	1 時間

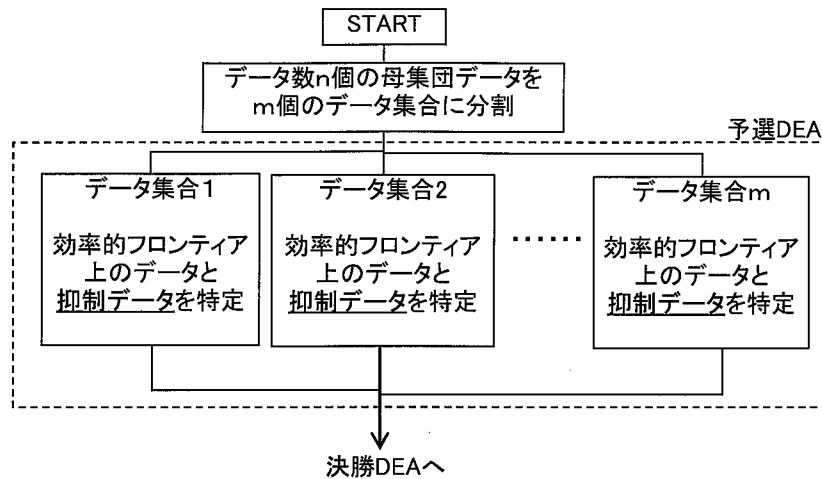


図-4 予選-決勝モデルの修正フロー（予選 DEA のみ抜粋）
Fig. 4 The corrected flow chart of “a primary and the final” model

表-5(1) 山口県内の急傾斜地危険箇所順位（自然斜面，上位15位）

Table 5(1) Ranking of the dangerous our place of steep slope in Yamaguchi (a natural slope, the 10 th place of higher rank)

ID	都道府県内箇所番号	郡市	市町村	危険度	人家戸数	公共施設数	災害時要援護者関連施設	決定順位
106	201 I 0116	下関市	下関市	1.74857	43	4	2	1
2528	328 I 0051	玖珂郡	美川町	1.58126	62	4	2	2
31	201 I 0032	下関市	下関市	1.73598	25	3	2	3
2166	303 I 0003	大島郡	東和町	1.71675	38	4	1	4
1522	208 I 0126	岩国市	岩国市	1.53516	28	3	2	5
122	201 I 0137	下関市	下関市	1.78533	4	0	2	6
1020	204 I 0020	萩市	萩市	1.80482	168	1	0	7
951	203 I 0136	山口市	山口市	1.62265	209	0	0	8
218	201 I 0259	下関市	下関市	1.71635	90	2	0	9
1799	211 I 0002	長門市	長門市	1.63309	56	2	1	10
505	201 I 0771	下関市	下関市	1.79716	109	0	0	11
132	201 I 0151	下関市	下関市	1.99112	22	0	0	12
3495	506 I 0028	阿武郡	須佐町	1.79777	1	3	0	13
3342	502 I 0021	阿武郡	阿武町	1.73947	0	0	2	14
1033	204 I 0034	萩市	萩市	1.71553	0	0	2	15

表-5(2) 山口県内の土石流危険溪流順位 (上位 15 位)

Table 5(2) Ranking of a mountain stream with the danger of debris flow in Yamaguchi (the 10 th place of higher rank)

ID	都道府県内箇所番号	郡市	市町村	危険度	人家戸数	公共施設数	災害時要援護者関連施設	決定順位
145	208-I-145	岩国市	岩国市	0.45422	257	1	1	1
2346	211-I-055	長門市	長門市	0.40278	1	10	0	2
1302	207-I-071	下松市	下松市	0.50451	148	1	0	3
277	324-I-026	玖珂郡	本郷村	0.45422	36	4	2	4
303	326-I-008	玖珂郡	錦町	0.47414	56	3	2	5
1995	213-I-013	美祢市	美祢市	0.50920	21	3	2	6
1541	206-I-026	防府市	防府市	0.48059	1	0	3	7
1663	381-I-023	佐波郡	徳地町	0.37757	5	0	3	8
739	341-I-023	熊毛郡	上関町	0.42596	25	4	1	9
2104	201-I-003	下関市	下関市	0.42115	12	5	0	10
25	208-I-025	岩国市	岩国市	0.48275	85	1	1	11
2340	211-I-049	長門市	長門市	0.49209	0	0	2	12
1646	381-I-005	佐波郡	徳地町	0.40432	6	1	2	13
1299	207-I-066	下松市	下松市	0.45240	3	0	2	14
1944	505-I-004	阿武郡	むつみ村	0.48294	9	3	1	15

表-5(3) 山口県内の地すべり危険箇所順位 (上位 15 位)

Table 5(3) Ranking of the dangerous place of the landslide in Yamaguchi (the 10 th place of higher rank)

ID	都道府県内箇所番号	郡市	市町村	危険度	人家戸数	公共施設数	災害時要援護者関連施設	決定順位
191	201-01	下関市	下関市	9.780	469	11	1	1
30	326-05	玖珂郡	錦町	8.980	240	12	2	2
32	326-07	玖珂郡	錦町	10.040	266	11	1	3
80	341-07	熊毛郡	上関町	9.070	417	7	1	4
192	201-02	下関市	下関市	9.190	399	3	1	5
257	483-14	大津郡	油谷町	10.610	309	1	0	6
254	483-11	大津郡	油谷町	10.470	143	5	2	7
26	326-01	玖珂郡	錦町	8.750	91	8	2	8
143	214-05	新南陽市	新南陽市	9.040	47	8	0	9
261	483-18	大津郡	油谷町	10.470	136	1	1	10
148	206-02	防府市	防府市	7.730	162	3	2	11
29	326-04	玖珂郡	錦町	8.490	81	4	2	12
262	483-19	大津郡	油谷町	10.550	149	4	0	13
164	203-07	山口市	山口市	8.950	78	0	2	14
216	444-08	豊浦郡	豊北町	8.690	18	0	2	15

位となったID:2346地点は危険度こそ平均以上であったが人家は1戸のみ、ただし公共施設が10箇所存在していた箇所であり、先のID:145地点とは全く性格の異なる場所であることが認められる。これは、DEAの特徴である各データの「事情」が最大限考慮された結果であると考えられ、防災事業の優先順位を検討する上で公平な評価が出来たものといえる。

図-5(1)~(3)に急傾斜地崩壊危険箇所(自然斜面ランクI)、土石流危険溪流(溪流I)、地すべり危険箇所の順位算出結果より、それぞれ上位10%まで(地すべり

については50位まで)に入った箇所の分布を地図上に示す。それぞれの災害について特に順位の高い危険箇所が集中する地域が認められ(急傾斜地では下関市、土石流では岩国市、地すべりでは油谷町)、これについても将来の防災事業計画を検討する上で非常に有用な情報を得ることが出来た。

6. まとめ

本研究では、DEAの大規模問題を解消する予選-決勝モデルを使用することで、評価対象が多数存在する土

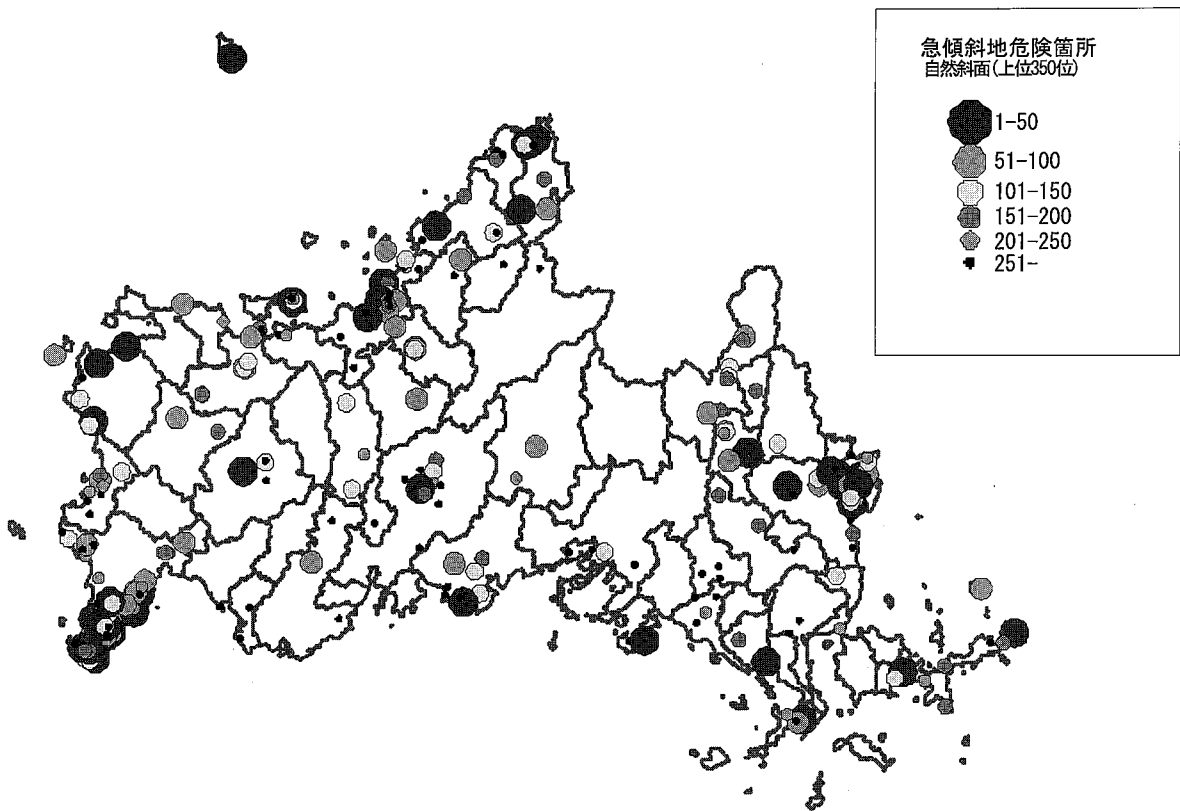


図-5(1) 急傾斜地崩壊危険箇所(自然斜面ランクI)分布図(上位約10%, 350位までを表示)

Fig.5(1) Steep slope collapse dangerous place (natural slope rank I) distribution map (even about 10% of higher ranks, the 350 th place)

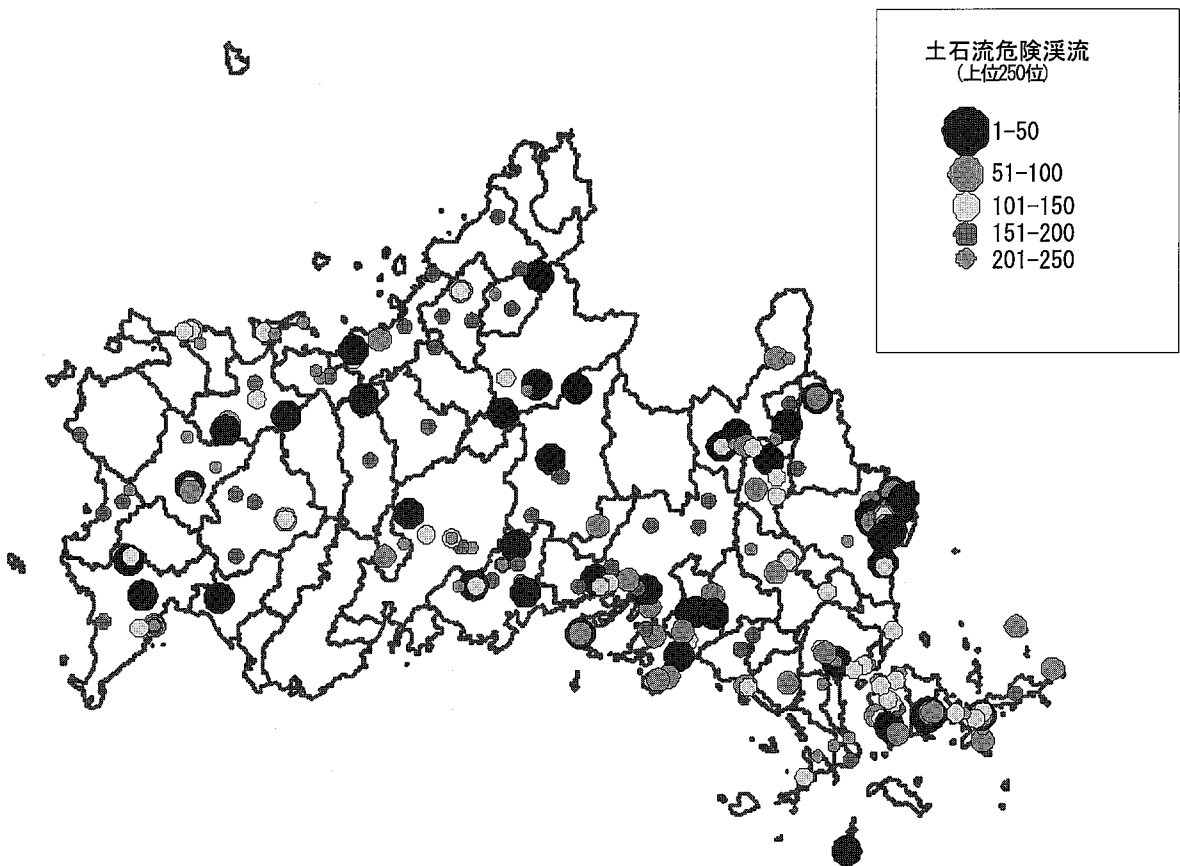


図-5(2) 土石流危険溪流(ランクI)分布図(上位約10%, 250位までを表示)

Fig.5(2) Mountain stream (rank I) distribution map with the danger of a debris flow (about 10% of higher ranks, the 250 th place)

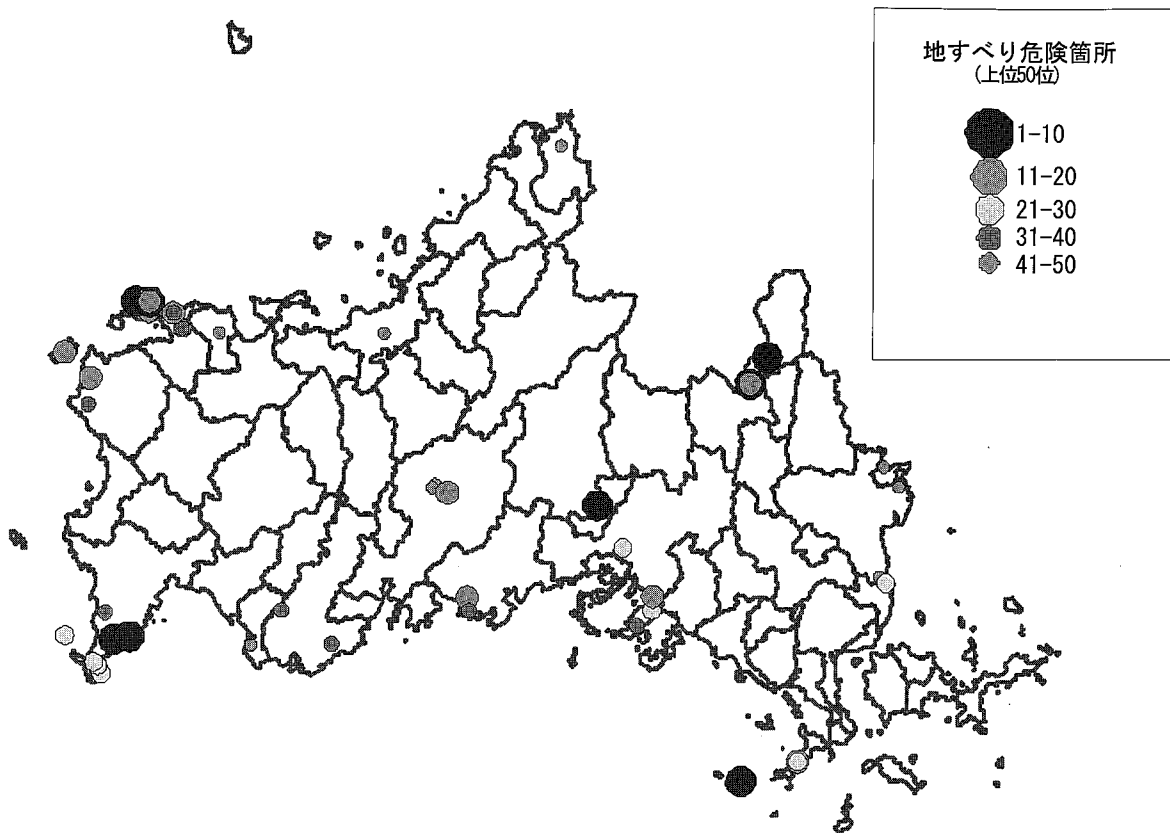


図-5(3) 地すべり危険箇所分布図 (上位 50 位まで)
 Fig.5(3) The dangerous place of the landslide distribution map in Yamaguchi (the 50 th place of higher rank)

砂災害危険箇所についての順位設定を行うことが出来た。山口県のデータを対象として検討した土砂災害危険箇所の順位は、DEA の特徴が生かされた公平性の高いものであり、将来実施されるべき防災事業の優先順位を考える上で活用されることを期待したい。

また、本研究で得られた手法は土砂災害を対象とした順位付けにのみに適用されるものではなく、同様な大規模データの処理が必要になる場面において大いに利用されるべきものである。本研究では計算に 4 要因を用いたが、これについても内容・要因数共に制約があるものではない。よって今後更に広い分野への応用を検討し、研究を継続していく所存である。

参考文献

- 1) 土砂災害防止法令の解説 - 土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策推進に関する法律 - : 社団法人全国治水砂防協会, 2003
- 2) 佐藤丈晴, 海原荘一, 荒川雅生, 足立心也, 古川浩平: 災害防除施設施工優先度の設定手法に関する研究, 土木学会年次学術講演会講演概要集 Vol. 58, pIV-414, 2003
- 3) 海原荘一, 荒川雅生, 佐藤丈晴, 中山弘隆, 古川浩平: 包絡分析法を用いた客観的な急傾斜地崩壊対策施設整備

優先順位設定法, 砂防学会誌, Vol.57, No.2, p.39-47, 2004

- 4) Charnes, A., Coopers W.W., Rhodes, E.: "Measuring the Efficiency of Decision Making Units", European Journal of Operational Research, 2, p.429-444, 1978
- 5) 八木俊朗, 荒川雅生, 芝山宗昭, 中山弘隆, 尹禮分, 石川浩: データ包絡分析法を用いたトレンド分析法の開発, 第 11 回設計工学・システム部門講演会講演論文集, p.80-81, 2001
- 6) 倉本和正, 守川倫, 鉄賀博己, 荒川雅生, 中山弘隆, 古川浩平: 斜面要因を考慮した斜面毎の非線形がけ崩れ発生限界雨量線の設定方法とその崩壊予測精度, 土木学会論文集, No.707, IV-55, p.67-81, 2002
- 7) 地すべり危険箇所調査データベース, 山口県土木部砂防課, 1997
- 8) 山口県土木部砂防課: 急傾斜地危険箇所等点検調査データベース, 2000
- 9) 山口県土木部砂防課: 土石流危険渓流および土石流危険区域調査データベース, 2000
- 10) 刀根薫: 経営効率性の測定と改善, 日科技連, 1998
- 11) 荒川雅生: データ包絡分析法を用いた設計の評価, 日本機械学会システム設計最適化における革新(講習会教材), pp.31-37, 2001

(原稿受理 2005 年 11 月 2 日)