停電コストの推定に関する調査研究

正員 仲村 宏一（北見工大）

正員 山城 迪（北見工大）

A Survey Study on Estimation of Customer Interruption Costs

Koichi Nakamura, Member (Kitami Institute of Technology)

Susumu Yamashiro, Member (Kitami Institute of Technology)

The objective of this study is to estimate customer interruption cost by analyzing survey responses and comparative examination between it and the estimation value by the economic macro method or the example of America and Canada. The power interruption cost is considered as one of the useful index for evaluating the expansion planning or the operation of power system facilities from reliability.

It is also considered to become more important index in the recent development of integrated resource planning in which both supplier's and customer's resources are equally dealt with. This paper reports the estimation results of customer interruption costs based on the three years survey from 1992 to 1994 conducted in HOKKAIDO and for various kinds of customers.

キーワード：停電コスト、信頼度、設備計画

1. まえがき

近年、わが国の電気エネルギーを取りまく諸問題へ柔軟に対応するため電気事業法が改正され、規制緩和に伴う様々な試みが検討されている状況にある。

この様に、電気事業への一般の関心が高まっている状況の下で、電力系統設備の新たな計画や運用を実施する場合、計画・運用の実施に伴うメリットを需要家側からどの様に評価するかの検討が重要になってくると考えられる。例えば、系統設備計画の実施による需要家の主なメリットとして、供給信頼度の向上が挙げられるが、一方、デメリットとして設備投資による電気料金の値上げ等の需要家への負担増が考えられる。

従って、供給信頼度向上は需要家における停電コストの減少として捉えられ、何等かの方法による停電コストの定量化により、需要家側から見た系統設備計画の経済的評価が可能になると考えられる。このような需要家サイドを含んだ電力の供給－需要両サイドからの設備計画の評価は統合資源計画（Integrated Resource Planning）の考えにも沿ったアプローチでもあり、今後その重要性を増すものと考えられる。

一方、需要家における停電コスト推定や設備計画への導入の報告は、欧米諸国において見られるが^{(1),(2),(3),(4)}等、我が国ではほとんど見当たらない^{(5),(6)}。

本稿は、北海道内の需要家を対象に実施したアンケート調査を元に停電コストを推定し、経済マクロ評価による算

定、および、諸外国の例との検討結果を取りまとめたもので、系統設備計画問題のみならず、広く信頼性の経済評価に係わる研究資料になるものと考えられる。

2. 調査方法

北海道内の各種需要家を任意に抽出し、停電に関する郵送によるアンケート調査を1992年から1994年に実施した。

対象となった6都市と3地域を図1に示す。回答のあった需要家を大規模需要家（以降大規模）と業務・小口需要家（以降業務）および一般家庭需要家（以降一般）に分類しアンケートの郵送数と回答数および回答率を表1に示す。

図1 調査地点

Fig.1 Survey areas.

アンケートの郵送総数は10,450件で、その内3,297件の回答があり、全体の回答率は約32%であった。

需要家別では、大規模（Large）が最も回答率が高く71%、そして業務（Business）と一般（Residential）はそれぞれ32%および31%であった。アンケートに回答を寄せた大規模と業務の主な業種の分類を表2に示す。

表1 需要家とアンケートの回答率
Table 1 Customer category and survey responses.

需要家 種別	調査 地点	郵送数	回答数	回答 率%
大規模 (契約500kW 以上)	北海道全域	2 1 7	1 5 3	7 1
業務 (契約500kW 未満)	a-f	1, 1 1 7	3 5 5	3 2
小計	-	1, 3 3 4	5 0 8	3 8
一般	a-i	9, 1 1 6	2, 7 8 9	3 1
合計	-	1 0, 4 5 0	3, 2 9 7	3 2

表2 職種別回答率（大規模と業務）（%）
Table 2 Response rates in survey class.
(Large and Business) (%)

需要家 種別	業 種			
	製造業	卸売小売 業	サービ ス 業	事務所・ ビル
大規模	61	9	32	0
業務	34	15	36	15

表2より、大規模の約61%は製造業で、次にサービス業約32%、そして卸売小売業約9%であった。一方、業務は、製造業とサービス業がほぼ同じ割合で合計70%を占め、卸売小売業と事務所・ビルが共にそれぞれ15%となった。

3. 停電コストの推定

需要家における停電コストを推定するために、需要家自身が評価する停電に対する金銭的価値判断による推定手法を採用した。具体的には、発生状況の異なる幾つかの停電を想定し、これらの停電に対して、次の2種類の質問を用意し需要家に回答を求めた。

- 質問Ⅰ：停電による損害額（コストA）。
- 質問Ⅱ：停電を避けるために利用できる電気の特例供給サービスに対する一回当たりの利用料金の許容額（コストB）。

ここで、質問ⅠとⅡに対する回答を、それぞれコストAおよびBとすると、停電コストはAとBの間に存在するものと考えられ、本論文では、コストAを停電コストの上限値、コストBを下限値として取り扱うものとする。

<3・1>大規模と業務需要家

大規模と業務の各需要家に対し、1秒から8時間の停電時間だけが異なる4種類の停電を想定した（表3）。

表3 停電シナリオ（大規模と業務）
Table 3 Outage scenarios. (Large and Business)

ケース	停 電 状 況
1	冬の平日午前10時の1秒
2	// 15分
3	// 1時間
4	// 8時間

3・1・1 大規模需要家

停電シナリオに対して大規模需要家の回答から得られたコスト分布を図2と図3に示す。図中の“時間”は、表3の各ケースにおける停電時間を表している。

図2および図3より、コストAとBは共に金額が高額となる右側に裾の引く広範な分布範囲を持っており、特にコストAは0~399万円、コストBは0~99万円の範囲に集中していることがわかる。また、停電時間が長くなるに従

い、コストBは0円への集中割合が減少し、コストAはそれに加え金額が1,600万円以上の高額な部分の割合が増す為、コストの平均値は増加する結果となる。一方、求められる統計値の主な代表値は、ほぼ、平均値>中央値>最頻値の順になることから、データのばらつき特に値の大きな外れ値の影響が大きいことが確認される。したがって、正規分布が期待できないばらつきの大きいデータにおいて、外れ値の影響を出来るだけ少なくした代表値を計算するための一手法として、全データの上下5～10%を除いた平均値を求めるトリム平均値⁽⁷⁾に注目し、以降本稿では上位5%のデータを除いた上5%トリム平均値を代表値として採用する。また、データばらつき度合の目安となるデータを昇順に並び替えた時の小さい順から25%、50%、75%の各順位値を示す第一、第二(中央値)、第三の各四分位値と、0円を除く平均値を求め表4と表5に示す。

表4 コストAの統計値(大規模)(単位:万円)
Table 4 Statistics of cost A. (Large) (10⁴YEN)

	停電継続時間			
	1 s	15 m	1 h	8 h
平均	163	339	598	3,219
除0平均	286	403	634	3,825
5%トリム平均	78	215	382	1,631
最小値	0	0	0	0
最大値	2,940	4,000	6,500	54,000
最頻値	0	0	200	1,000
四分位値				
第一	0	5	35	200
第二	6	50	200	570
第三	100	233	500	1,760

表5 コストBの統計値(大規模)(単位:万円)
Table 5 Statistics of cost B. (Large) (10⁴YEN)

	停電継続時間			
	1 s	15 m	1 h	8 h
平均	39	30	39	79
除0平均	113	68	78	131
5%トリム平均	9	7	11	29
最小値	0	0	0	0
最大値	1,000	1,000	1,000	1,200
最頻値	0	0	0	0
四分位値				
第一	0	0	0	0
第二	0	0	1	10
第三	5	10	10	45

3.1.2 業務需要家
次に、業務需要家のコストAとBの分布を図4と図5、そして統計値を表6と表7に示す。
これらの図および表より、業務のコスト分布は大規模と同様な特性を示し、特にコストAは0～99万円、コストBは0～9万円の範囲に集中している。

図4 コストAの分布(業務)
Fig. 4 Distribution of cost A. (Business)

図5 コストBの分布(業務)
Fig. 5 Distribution of cost B. (Business)

表6 コストAの統計値(業務)(単位:万円)
Table 6 Statistics of cost A. (Business) (10⁴YEN)

	停電継続時間			
	1 s	15 m	1 h	8 h
平均	3	9	29	133
除0平均	10	13	34	139
5%トリム平均	1	5	18	92
最小値	0	0	0	0
最大値	100	200	700	1,500
最頻値	0	0	0	100
四分位値				
第一	0	0	2	13
第二	0	1	7	50
第三	1	10	30	164

表7 コストBの統計値（業務）（単位：万円）

Table 7 Statistics of cost B. (Business) (10⁴YEN)

	停電継続時間			
	1 s	15 m	1 h	8 h
平均	0	1	3	9
除0平均	2	3	5	12
5%トリム平均	0	0	1	4
最小値	0	0	0	0
最大値	20	30	50	300
最頻値	0	0	0	0
四分位値				
第一	0	0	0	0
第二	0	0	0	1
第三	0	1	1	5

大規模と業務需要家の停電コスト代表値を各停電時間別にまとめた表8より、1時間停電における大規模と業務の停電コスト推定値は、各々11～382万円と、1～18万円になる。一方、1時間停電に関するコストAの範囲値（最大値－最小値）は、全データの50%が含まれる四分位範囲値（第三四分位値－第一四分位値）に対し大規模で約14倍、業務は約37倍となり需要家が算定する停電コストの値は、ばらつきの大きい分布となることが確認される。次に、大規模と業務をまとめて商工業需要家と仮定した場合のコスト推定値を表8に示すが、この場合1時間停電で上限値66万円、下限値3万円となる。

表8 停電コストの推定値（大規模と業務）
（上5%トリム平均値、単位：万円）

Table 8 Estimated values of interruption costs.
(Large and Business) (10⁴YEN)

需要家 種別	コスト 種別	停電継続時間			
		1s	15m	1h	8h
大規模	A	78	215	382	1,631
	B	9	7	11	29
業務	A	1	5	18	92
	B	0	0	1	4
商工業	A	7	23	66	258
	B	0	1	3	7

<3.2> 一般需要家

一般需要家に関する停電シナリオを以下に示す。

表9 停電シナリオ（一般）

Table 9 Outage scenarios. (Residential)

ケース	停電状況
1	夏の平日午前7時から8時の1時間
2	冬の平日午後4時から6時の2時間
3	冬の休日午前10時から午後2時の4時間

これらの停電シナリオに関する回答の各統計値を、表10と表11に示す。

表10 コストAの統計値（一般）（単位：円）

Table 10 Statistics of cost A. (Residential) (YEN)

	停電継続時間		
	1 h	2 h	4 h
平均	2,610	4,630	4,570
除0平均	3,740	5,290	5,230
5%トリム平均	1,200	3,100	3,220
最小値	0	0	0
最大値	50,000	200,000	200,000
最頻値	0	3,000	3,000
四分位値			
第一	0	500	600
第二	500	3,000	3,000
第三	1,000	5,000	5,000

表11 コストBの統計値（一般）（単位：円）

Table 11 Statistics of cost B. (Residential) (YEN)

	停電継続時間		
	1 h	2 h	4 h
平均	1,300	2,050	2,020
除0平均	1,740	2,450	2,410
5%トリム平均	570	1,320	1,410
最小値	0	0	0
最大値	20,000	20,000	94,000
最頻値	0	1,000	1,000
四分位値			
第一	0	100	100
第二	100	1,000	1,000
第三	1,000	3,000	3,000

表10と表11より、一般のコスト分布は大規模や業務同様にデータのばらつきと外れ値の影響が認められ、分布範囲としてコストAは0～6,000円、コストBは0～1,000円にほぼ集中している。停電コストの推定値を時間別に表12にまとめる。

表12 停電コストの推定値（一般）
（上5%トリム平均値、単位：円）

Table 12 Estimated values of interruption costs.
(Residential) (YEN)

コスト 種別	停電継続時間		
	1h	2h	4h
A	1,200	3,100	3,220
B	570	1,320	1,410

表12より、一般需要家の1時間停電における停電コストの推定値は、上限値1,200円、下限値570円となる。

4. 停電コストの経済評価

<4.1> アンケートによる推定

KWh当たりの停電コスト単価を求めるために用いた、需要家の月平均使用電力量の統計値を表13に示す。統計値に関してコスト分布と同様に値の大きな外れ値の影響が認められるため、上5%トリム平均値を代表値として採用する。

表 13 使用電力量の統計値
Table 13 Statistics of monthly consumption.

	月間使用電力量		
	大規模 MWh	業務 MWh	一般 KWh
平均	1,688	24.5	430
5%未満平均	1,197	20.8	320
最小値	37	2.3	30
最大値	18,381	132.3	7,220
最頻値	—	18.6	200
四分位値			
第一	282	6.5	180
第二	515	10.2	250
第三	1,069	38.7	400

一方、停電コスト単価を求めるのに用いた停電シナリオは、各需要家に共通である1時間停電（大規模と業務はケース3、一般はケース1）を選択した。従って、使用電力量の統計値にシナリオの停電時間に相当する各需要家の需要特性を以下のように想定した場合の補正を行い、停電コスト単価を求めると表14になる。

- 全需要家に関する需要特性は、1日の最大需要に対する平均需要の割合である日負荷率を60%とする。
- 大規模と業務需要家は最大需要時間帯、一般需要家は最大の60%需要時間帯とする。

表 14 アンケートによる停電コスト単価推定値
(単位:円/KWh)
Table 14 Estimated interruption costs by questionnaire.
(YEN/KWh)

需要家 種別	停電コスト 万円/h		使用電力量 MWh/月	停電コスト単価 (円/KWh) 上限-下限
	A	B		
大規模	382	11	1,197	1,400- 40
業務	18	1	20.8	3,700- 200
一般	0.12	0.06	0.32	2,700-1,350

表14より、商用電力単価を電力20円/kWh、電灯26円/kWhとすると、大規模と業務および一般の各需要家停電コストは、それぞれ商用電力単価の約2~70倍、10~190倍、52~104倍となる。

<4.2> 経済マクロ評価

停電コストを国民経済計算⁽⁸⁾より推定する経済マクロ評価の試みが報告されており⁽⁶⁾、以下に、同手法による停電コストの算出を行う。

まず初めに、全国と北海道全体について考えると、停電コストは全産業の生産高を電灯需要電力量を除く電力需要電力量で割って求められるものと考え、それぞれ全国と北海道に関する値を表15にまとめる。

表15より、国民経済計算による停電コスト単価は、全国766円/kWhに対して、北海道892円/kWhとなり、北海道の方が約16%高くなるが、一方、使用した商用電力単価の差によって、商用電力単価との比較ではどちらもほぼ同じ値の約45倍になる。

表 15 国民経済計算による停電コストの推定
Table 15 Estimation of interruption costs by national accounts.

地 域	総生産 額 (A) 10億円	電力需要 電力量 (B) 百万kWh	停電コスト 単価 (C=A/B) 円/kWh	C / 商用単 価※3
全国※1	488,523	637,373	766	45.1
北海道※2	19,010	21,312	892	44.6

※1：平成7年度、※2：平成6年度

※3：商用電力単価-全国17円/kWh、北海道20円/kWh

次に、大規模と業務および一般の各需要家に関する検討を行う。ここで、大規模と業務需要家の停電コスト算定は国内の生産活動から発生した財貨・サービスより原材料等の中間投入を控除した付加価値で定義し、各業種別の値は産業関連表における各部門の粗付加価値から求められる。

一方、一般の需要家に関する停電コストは、一般家庭の1日の全生活行動における「生活必需行動」の家事労働に関する対価と定義し、具体的には、停電のために行えなかった家事労働の為に雇用すると仮定した、女子パート労働者の1時間当たりの所定内給与で算出する。なお、各需要家の業種はアンケートの業種分類を考慮して大規模は製造業、そして、業務は卸売小売り業・不動産業・運輸通信業・サービス業で構成されるものと想定した。表16に各需要家種別の停電コストに関する経済マクロ推定値を示す。

ここで、一般の停電コストと需要電力量は一需要家当たり、大規模と業務は北海道全体の年推定値である。

表 16 経済マクロによる停電コスト単価推定値
(単位:円/kWh)

Table 16 Estimated interruption costs by economic macro.
(YEN/KWh)

需要家 種別	停電コスト (A) 百万円/年	需要電力量 (B) kWh/年	停電コスト 単価 (C=A/B) 円/kWh
大規模	737,288	$3,446 \times 10^6$	214
業務	6,925,500	$5,017 \times 10^6$	1,380
一般	6.59※	2,736	2,409

※752円/h×8,760h/年

アンケート調査による停電コスト推定値(表14)と経済マクロ(表16)を比較すると、マクロの値は各需要家共にアンケートの上下限値の範囲内に位置しており、特に、一般ではアンケートの上限値に近く、一方、大規模と業務はやや下限値に近い値となった。その理由として、マクロにおいて一般の停電コスト算出に用いた「女子パート労働者の1時間当たり所定内給与」は停電コストを高く見積もるため、アンケートの上限値に近くなると考えられるのに対して、大規模と業務で使用した「粗付加価値」は、停電による間接的な影響(製品の損害や余分な人件費等)が含まれないため評価が低くなり、アンケートの上限値よりやや下限値に近くなるものと推測される。

需要家におけるアンケート調査と経済マクロ評価より、一般需要家は停電への対応がほとんど不可能なため、アンケート調査では出来るだけ停電を避けたいとする傾向が出ると考えられる事から、停電コストとしてアンケートの下限值である1,350円/kWhを採用すると、商用電力単価の約52倍程度となる。一方、生産や商取引に従事する大規模と業務は停電の責任を電力会社へ求める傾向が当然強くなると考えられ、さらに停電による間接的な影響を考慮しアンケートの上限値を用いると、それぞれ、1,400円/kWhと3,700円/kWhとなり、商用電力単価のおよそ70倍と190倍程度になるものと推測される。

尚、停電コスト単価の推定に用いた停電シナリオは、各需要家共通の1時間停電を採用しているが、大規模と業務は冬季、また一般は夏季といった相違があるが、ここでは季節による違いは考慮しないものと仮定している。

5. 他の調査例

需要家の業種分類、サンプル数や調査方法に異なる点はあるがアメリカやカナダの主な例と比較すると、例えば一般では2.84~4.90 \$/h⁽¹⁾、3.23~7.81 \$/h⁽¹⁾、5.39 \$/h⁽³⁾および1.64 \$/KWh⁽²⁾、2.07 \$/KWh⁽³⁾、0.5~5 \$/KWh⁽⁴⁾、商業では16.79 \$/KWh⁽²⁾、45.82 \$/KWh⁽³⁾、5~35 \$/KWh⁽⁴⁾、また工業では7.61 \$/KWh⁽³⁾、2~20 \$/KWh⁽⁴⁾、大規模では、2.71 \$/KWh⁽²⁾となり、北海道の調査結果と共に表17にまとめる。ここで、今回の調査における業種の業務は商業として分類した。また、停電コストおよび単価は1ドル=100円として換算した。

表 17 主な他の調査例
Table 17 Examples of other survey results.

国(地域) 調査年	需要家 種別	停電コスト(A) 円/KWh	単価(B) 円/KWh	(A)/(B)
アメリカ 1996年	一般	207	11	19
	商業	4,582		417
	工業	761		69
	1990年 一般	50~500		5~45
	商業	500~3,500		45~318
	工業	200~2,000		18~182
カナダ 1987年	一般	164	8	21
	商業	1,679	6	280
	大規模	271	4	68
日本 (北海道) 1994年	一般	1,350~2,700	26	52~104
	業務	200~3,700	20	10~190
	大規模	40~1,400		2~70
	商工業	60~1,200		3~60

6. まとめ

需要家を対象にしたアンケート調査と経済マクロ評価より停電コストの推定値を求め、商用電力単価と比較した。その結果は次のようにまとめられる。

- (1) アンケート調査による停電コストは、1時間当たり、大規模、業務、一般の各需要家それぞれ11~382万円、1~18万円、570~1,200円と推定した。また、商工業では3~66万円と推定した。
- (2) アンケートのKWh当たりの停電コスト単価は、大規模約40~1,400円/KWh、業務約200~3,700円/KWh、一般需要家約1,350~2,700円/KWh、そして、商工業約60~1,200円/KWhとなった。
- (3) 経済マクロ評価では、北海道の産業全体で892円/kWhで商用電力単価の約45倍で全国とほぼ同じ値となった。また、大規模と業務そして一般需要家のコスト単価はそれぞれ、214円/kWh、1,380円/kWh、2,409円/kWhで、各値共にアンケートの上下限値の範囲内に位置し、大規模と業務は下限値に、一般は上限値に近い値となった。
- (4) 停電コスト単価の商用電力単価に対する倍率は、例えば、需要家特性や経済マクロに関する<4・2>節の考察に従うものとする、大規模約70倍、業務約190倍、一般約52倍、また、商工業約60倍程度になるものと推測される。

今回の調査では、外国の例と比較して相対的に一般需要家の停電コストが高くなる結果となった。しかし、供給信頼度の違いによる需要家の停電に対する意識の差及び、電力消費量の相違や電力料金の内外格差等を考慮すると、大きな違いは見当たらないと考えられる。

最後に、本調査研究にご協力頂いた北海道電力(株)工務部電力システムグループの皆様へ感謝申し上げます。

(平成10年4月27日受付、同10年9月14日再受付)

文 献

(1) N.Balu,M.Lauby, "Cost-Benefit Analysis of Power System Reliability : Determination of Interruption Costs", EPRI EL-6791s Vols.1-3 1990.

(2) R.Billinton,J.Oteng--Adjei,R.Ghaja, "Comparison of Two Alternative Method to Establish on Interrupted Energy Assessment Rate", IEEE , Trans. On Power Systems , Vol.PWRS-2 , No.3 , August 1987.

(3) M.J.Sullivan, "Interruption Costs, Customer Satisfaction and Expectations for Service Reliability", IEEE Trans. on Power Systems, Vol.11, No.2, May 1996.

(4) Arun P.Sanghvi, "Measurement and Application of Customer Interruption Cost/Value of Service for Cost-Benefit Reliability Evaluation : Some Commonly Rased Issues", IEEE Transactions on Power Systems, Vol.5,No4,November1990

(5) S.Yamashiro,K.Nakamura,O.Terada,Y.Tomaki, "Residential Cost of Power Service Interruption -Recent Survey Application to Transmission Planning-", ICEE , Proceedings of the International Conference on Electrical Engineering , Vol.1 August , 1996.

(6) 電力中央研究所報告:「わが国における停電コストの評価」,昭和57年12月

(7) 新村秀一:「パソコンによるデータ解析」,講談社

(8) 総務庁統計局編:「日本統計年鑑」,平成10年

仲村宏一（正員）昭和31年7月1日生まれ。55年3月北見工業大学電気工学科卒業。同年4月北見工業大学工学部技官（教務職員）。平成6年5月北見工業大学工学部助手現在に至る。電力系統の経済運用、太陽光発電の運用に関する研究に従事。日本太陽エネルギー学会会員。

山城 迪（正員）昭和15年11月22日生まれ。38年3月北海道大学工学部電気工学科卒業。42年3月北海道大学大学院工学研究科修士課程修了。46年4月北見工業大学助教授、53年6月同教授現在に至る。工学博士。電力系統の運用・解析・制御、太陽光発電応用技術に関する研究に従事。IEEE、電気設備学会、日本太陽エネルギー学会、火力原力発電技術協会会員。