

信頼性設計のための評価手法に関する一考察

——送電線設備を例にして——

岐阜大学 (正) 森形孝芳 (学) 大島伸弘 (学) 〇小川 裕

1. はじめに

本研究は、構造物の例として送電線設備をとりあげ、これに信頼性設計を適用するときの計量的評価をどのようにしたらよいかを考え、具体的には、企業(電力供給者)の期待効用最大化仮説に基づいて、第1に、事故時の企業のイナージ低下による被害費用をEVの概念を用いて測定すること、第2に、送電線設備の最適な事故確率を求める方法を提案することを目的とする。

2. 信頼性設計における評価基準

本研究では、企業は、安全性・経済性という項目の他に、事故時の停電による不効用あるいは社会的な企業のイナージ低下の程度をも考慮して決定される期待効用最大化を評価基準とすると仮定する。

3. 企業のイナージ低下費用の測定

3-1 期待効用関数の特定化

評価主体、評価属性および期待効用関数型を次のように設定した。

○評価主体：企業(電力供給者)

○評価属性：総コストC(億円)、会社のイナージの指標 δ

○線型： $U = \alpha C + \beta \delta$

対数線型： $U = \alpha \ln(A - C) + \beta \ln(B - \delta)$

従って、期待効用関数EUは次のようになる。

線型： $EU = P\{\alpha(C_1P + C_2e^{-rt}) + \beta\delta\}$

$+ (1-P)(\alpha C_1P + \beta\delta)$

対数線型： $EU = P\{\alpha \ln[A - (C_1P + C_2e^{-rt})] + \beta \ln(B - \delta)\}$

$+ (1-P)[\alpha \ln(A - C_1P) + \beta \ln B]$

ただし、 C_1P は初期建設コスト(億円)を耐用年数内に送電線設備の事故が起る確率Pの関数、 C_2

は事故が毎年目に起った時の事故コスト(億円)を現在価値に換算するために e^{-rt} を乗じる。rは利率、 δ は企業のイナージ低下レベル(事故無0、やや低下1、かなり低下2、ひどく低下3)、 α 、 β 、A、Bはパラメータである。

3-2 アンケート調査

(3) ①式を推定するために、総コストと企業のイナージ低下レベルが互いに異なる2つの仮想的な代替案間での選好を尋ねるという一対比較形式の質問をある電力会社に対して実施する。

3-3 パラメータの推定方法

期待効用関数の推定に付、非集計ロジットモデルを適用し、最大推定法によってパラメータ推定を行なう。

3-4 企業のイナージ低下費用の定義と測定方法

企業のイナージレベルが δ_0 の時に、 δ_1 に変化した時の期待効用はそれぞれ次のようになる。

(変化前) $E(U_{\delta_0}) = PU(C_1P + C_2, \delta_0) + (1-P)(C_1P, 0)$ (5)

(変化後) $E(U_{\delta_1}) = PU(C_1P + C_2, \delta_1) + (1-P)(C_1P, 0)$ (6)

本研究では、企業のイナージ低下費用を、変化後の効用を維持する条件のもとで、企業のイナージレベルが δ_0 から δ_1 へ1レベル変化(悪化)する時に、この悪化を阻止するために企業が支払ったもよいと考える最高の支払い限度額EVと定義する。従って、このEVは次式を満足するものである。

$U(C_1P + C_2 + EV, \delta_0) = U(C_1P + C_2, \delta_1)$ (5)(6式より) (7)

この概念を用いると、企業のイナージ低下レベルを簡単に貨幣タームに換算することができると、実際の設計の際には、設計方針を決める資料とすることが可能である。

EVの測定は、(7)式に(4)(6)式を適用して次のよ

うに表すことができる。

線型: $EV = \frac{\beta}{\alpha} (\delta_1 - \delta_0)$

対数線型: $EV = A - C - \exp \left\{ \ln(A-C) + \frac{\beta}{\alpha} \ln \frac{\beta - \delta_1}{\beta - \delta_0} \right\}$ (9)

4. 最適事故確率の決定方法

最適事故確率 P_q は、(3)および(4)式を P について微分してゼロと置き、これを P について解けば得られる。

5. ケース・スタディ

5-1 アンケート調査

鉄塔200基を必要とする送電線網を想定し、これに対して、建設費、事故費用、企業のインージ低下レベル、事故確率を変化させた一対比較を行なった。

5-2 期待効用関数の推定結果とその他の考察

推定結果のうちで、 $t=15$ (年)、 $r=0.06$ の場合を、表-1に示す。以上のことから次のことがいえる。

(1)表-1で、誤差分散、相関係数、適中率、 t 値および尤度指数を見ると、このパラメータ推定が、線型、対数線型いずれの場合も信頼のおけるものと言える。

(2)3人の平均した相関係数および適中率は、線型で0.680、0.79%、対数線型で0.705、0.824となり、対数線型の方が適合性がよくなる。

(3)理論的には、無差別曲線が原点に対して凸になる対数線型の方が現実と一致していると思われる。

5-3 企業のインージ低下費用の計測結果と考察

$C=2000$ 億円の推定結果を表-2に示す。

表-2で、 $\delta=0.1$ 、 $\delta=1.2$ 、 $\delta=2.3$ と変化する時、線型ではいずれも等しいが、対数線型では徐々に増

加している。

(5) 5-4 最適事故確率の決定とその他の考察

鉄塔1基の初期建設コスト C_1 と鉄塔1基の耐用期間中における事故確率 p の関係は、回帰分析によって求め、ある地区では次のように定式化されている。

$C_1(p) = -0.375 \ln p + 6.80$ (10)

アンケート調査では、約200基に想定した α で、初期建設コスト C_1 は、(10)式に200を置いて次のようになる。

$C_1(p) = -75 \ln p + 1360$ (11)

また、送電線設備の事故確率 P は、200基のうち1基以上の鉄塔の事故確率であるから

$P = 1 - (1-p)^{200}$ (12)

ただし、パラメータは3人のアンケートの平均ととり、また $t=15$ (年)、 $r=0.06$ 、 $\delta=1$ とする。

線型: $p_{pq} = 6.283 \times 10^{-k}$ (13)

対数線型: $p_{pq} = 6.653 \times 10^{-k}$ (14)

次に、効用関数形の違いによる最適事故確率の変化を知るために、インージ低下の被害費用を両関数形で同じ値にとった。すなわち、線型の場合の β の値に $\frac{382.1}{592.9}$ 乗じた(なぜならば、線型の EV の平均は592.9億円、対数線型は382.1億円)すると、線型の最適事故確率は、

$p_q = 9.977 \times 10^{-k}$ (15)

(14)と(15)より、最適確率が線型より対数線型の方がやや小さいのは、より安全側の設計案を最適設計とすることとを表し、これは企業の確実性指向を表すものである。

6. おわりに

5-2の(2)(4)、5-3、5-4の考察より対数線型の方が現実と一致していることを示した。また、線型の EV の算出式(8)式はコスト C の影響が考慮されていない点からも、やはり線型は効用関数として不適切だといえる。

表-1 パラメータの推定結果

	アンケート 人数	t	A	B	α	β	分散	COR	HITE R	尤度指数
Linear	1	15			-0.0794 (-2.817)	-49.63 (-3.060)	261	0.661	0.806	0.384
	2	15			-0.0805 (-2.786)	-52.32 (-3.038)	254	0.561	0.722	0.300
	3	15			-0.1040 (-3.108)	-53.93 (-3.176)	152	0.818	0.861	0.567
Log-Linear	1	15	2800	3.5	40.77 (2.630)	80.71 (2.801)	9.9x10 ⁻⁴	0.672	0.806	0.400
	2	15	2800	3.5	27.43 (2.186)	60.17 (2.612)	2.2x10 ⁻³	0.561	0.722	0.300
	3	15	2800	3.5	56.25 (2.843)	92.48 (2.825)	5.2x10 ⁻⁴	0.884	0.944	0.663

() : t 値

表-2 企業のインージ
低下費用

$\delta=0.1$	$\delta=1.2$	$\delta=2.3$
625.1	←	←
649.9	←	←
518.6	←	←
389.0	508.7	709.1
417.6	539.2	728.2
330.9	455.0	668.6