【研究報告】

架空送電線の概略ルート選定における GISを用いた環境、施工性、景観の定量化の試み

江崎哲郎・三谷泰浩・周 国云・尾崎利行・パクキョンヒ・梅尾隆之

Quantitative evaluation of environment, executability and landscape
in prior rough route selection for electricity transmission line by using GIS

Tetsuro ESAKI, Yasuhiro MITANI, Gouyun ZHOU,
Toshiyuki OZAKI, Kyoung Hee PARK, Takayuki UMEO

Abstract: A new quantitative approach for prior rough electricity transmission line selection considering environmental impact, executability and landscape factor by using GIS is proposed, and transmission line selection has been practically conducted in a field. As the results, it is found the working efficiency of route selection is greatly increased and current complex work become very concise. Because the index or value spatial distribution can be grasped locally and globally, in case of changing route design, the necessary information can be quickly provided for decision making. Furthermore, because all the influence factors are quantitated, the quantitative evaluation for a specific selected transmission line route can be provided, and several alternative route and their concrete evaluation can be proposed and compared. It is concluded that proposed method is very effective in optimum prior rough route selection for electricity transmission line by considering various kind of restrictions.

Keywords: 送電線 (electricity transmission line), 環境情報 (environmental information),
ルート選定 (route selection), 景観 (landscape)

1. はじめに

架空送電線は、発電所から変電所、または変電所間を合理的に連絡するエネルギー輸送路であり、その設計・施工の円滑さ、設備の信頼性、および保守の容易さは、ルート選定に負うところが大きい。送電線のルートは、環境の異なる様々な地域を通過するため、ルート選定にあたっては、通過地の自然環

境や地域住民の生活環境、各種の法規制などの社会環境、景観、電波障害、災害による安全性、経済性など極めて多くの厳しい条件を考慮しながら計画される。さらに、最近ではルート選定時に検討したデータの公表・開示が求められるケースが多く、ルート選定結果やその具体的な選定方針およびその選定理由等を周辺住民に対して適切に明示する必要がある。このような状況に対応するためには、ルート選定の妥当性を立証するための手段として数値による定量化を行い、客観的な立場からルート選定を行い、ルート選定の明確な理由付けを行うことが重要となる。

架空送電線のルートは、先に述べた様々な環境と

江崎：〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1
九州大学大学院工学研究院
環境システム科学研究センター
Institute of Environmental Systems,
Faculty of Engineering, Kyushu University
6-10-1, Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka, Japan

調和がとれ、かつ地形、地質、気象条件など多種多様な環境や制約要因の技術的対応が可能であること、また経済的にも有利であることが必要となる。そのため、一般には、ルート全体を想定しつつ、多くの要素を同時に考慮しながら局所的にルートの線引きを行い、全体のルートを設定する。そして、線引きされた複数のルートに対してさらに調査を行い、経済性、環境を考慮したルートを選定することになる。

一般的なルート選定の具体的な手順は、送電の規模などの建設計画の立案後、5万分の1程度の地形図上に様々な条件を線引きし、構想ルートを選定する。さらに主要な制約条件について、机上ならびに現地の調査検討を行い、可能性、経済性が大綱的に確認された有力な概略ルートを選定する。そして選定された概略ルートについて詳細な調査・検討を行い、基本ルートを選定する。しかし、この方法では、多種多様な設計資料を同時に閲覧したり、膨大な図面を作成するなど、作業に多大な労力と時間を要することとなる。また、従来から実施されている熟練技術者によるルート選定方法は、技術者のノウハウによる定性的な判断に依存する部分が大きく、評価手法の客観性を示すことは困難である。

地理情報システム (GIS) を用いた送電線のルート選定については、これまでにいくつかの研究が行われている (例えば、加藤ほか、2000 ; 富田、1996)。しかし、本来、GIS が有する定量的かつ創造的評価・分析機能を十分に活用したルート選定手法を提案しているものは、ほとんど存在しない。

そこで本研究では、架空送電線のルート選定手順のうち机上での検討作業である概略ルート選定に対して、環境面、施工面、景観面を考慮した GIS による新たな定量的評価手法を提案し、検討作業の効率化はもちろん、環境や施工性、景観などの多くの制約条件を定量的に数値として評価し、客観的な評価に基づく概略ルートの選定を試みた結果について報告する。

2. GIS を用いた架空送電線の概略ルート選定の検討方針

GIS を用いて架空送電線の概略ルートを選定するにあたり架空送電線路調査測量基準解説書 (送電線建設技術研究会、1984) を参考に以下の手順で作業をすすめる。

まず、既設線の配置状況や送電線の通過可能性などを事前に考慮し、架空送電線建設の対象区域を設定する。今回選定の対象とするのは、新規の送電線建設の計画がなされている既存の2変電所間の幅約10kmのS字の帯状の総延長約70kmの区域である。

そして、解説書にある自然環境・社会環境・技術環境に関する環境情報について地図上の各位置の通過の難易度を数値化し、定量的に評価する。さらに、線引きした複数のルートに対して鉄塔の工事施工性と景観についても定量的な評価を行い、複数の概略ルート案について比較検討を行う。

なお、各種環境情報、施工性、景観などの数値化に際しては、現時点では信頼性のある具体的な評価点を与えることは困難であるため、実際の実務経験者との協議のもとに決定した暫定的な数値を与える。そのため、選定された概略ルートの評価値については絶対的な値ではない。

3. 環境情報による概略ルートの選定

3.1. 環境情報の抽出と分類

対象区域内で架空送電線のルート選定の支障あるいは制約を受ける環境基本情報を前述の解説書のもとに23種類抽出する。次に、送電線ルートの通過難易度を表現するため、これらを解説書及び実務経験者の知見や経験、ルート建設に関する関係官庁の規制や社会的ニーズなどを考慮して、過去の環境アセスメントの実施例に基づき5段階の指標を設定し、許可申請手続きの煩雑さ、難度を考慮しながら設定した指標に応じて指標値 (評価点) を設定する。そして環境情報を前述した解説書を参考に関連する同種の項目ごとに8項目の情報項目に分類する。さらに、各情報項目が重複することのないように自然、社会、技術環境の3つの環境情報に統合する (表1)。

指標値の設定に際しては、各環境情報内ではそれぞれの基本情報が重複することがないこと、統合された環境情報が重複するとしても3つ以上の指標値の重なりは生じないことを考慮して、実務経験者と協議の上、暫定的な値を設定する。

3.2. 総合環境特性図の作成

GIS上に環境情報を入力し、通過難易度を示す総合環境特性図を作成する。なお、ソフトウェアはArcView Ver. 3.2 (Esri社製)を使用する。

まず、情報項目毎に縮尺5万分の1の地形図上に作成してある環境基本情報を、スキャナーを用いてデジタル化し、イメージデータからベクトルデータを作成する。そしてそれぞれに属性データとして設定した指標値を与える。その結果、8つの情報項目に関するレイヤが作成されるが、これらのレイヤをさらに自然、社会、技術環境ごとに、指標値の高い環境情報を優先的に最上層のレイヤとして表示させるベクトル演算を行い、3つのレイヤを作成する。そして、これら3つのレイヤをベクトルデータからラスターデータに変換する。この際のセルサイズは5万分の1地形図の精度を考慮して500m×500mとする。そして、それら3つのレイヤをオーバーレイ解析し、ルート通過の通過難易度を示す総合環境特性図(図1)を作成する。

3.3. 概略ルートの線引き

概略ルートの線引きを行う際の条件として、対象区域の南端の変電所を始点、北端の変電所を終点とする。使用する鉄塔については経済性の観点から直線形鉄塔と角度形鉄塔の2種類に限定することにより、進行方向に対するルートの許容水平角が±30度以下と制限される(図2)。この条件の下、総合環境特性図の指標値の高い所を避けるようにセルの中心をラインで結び、ルートを線引きする。その結果、複数の概略ルートが線引きされるが、その中から指標値が小さく亘長が短いものを10ルート選んだ結果を図3に示す。また、図中には従来の方法により技術者が選定したルートも示す。

さらに、線引きしたラインをラスターデータに変換して総合環境特性図と重ね合わせ、ルートが通過するセルの指標値を合計することで、線引きしたルートの環境に及ぼす影響度を指標値として表す。その結果およびルートの総亘長を表2に示す。

このように、環境への影響を定量的に捉えることができ、従来ルートよりも環境的に優れたルートや総亘長の短いルートなど、可能性のある複数のルートを線引きすることができ、これらのルートに対して比較検討しながら、代替案としてのルートの提案が可能となる。

表1 環境情報の分類と指標値

分類	情報項目	基本情報	指標	指標値
自然環境	貴重動物	鳥獣保護区	影響なし	1
		鳥獣保護区特別保護区	絶対回避	50
	自然景観	国定、県立自然公園第一種特別地域	絶対回避	50
		国定、県立自然公園第二種特別地域	絶対回避	50
		国定、県立自然公園第三種特別地域	基本的に回避	35
		県立自然公園普通地域	回避した方がよい	9
社会環境	生活環境	都市計画区域	回避した方がよい	9
		人家密集地	回避した方がよい	9
	娯楽施設	ゴルフ場	回避した方がよい	9
	文化風土	周知の埋蔵文化財包蔵地	回避した方がよい	9
	土地用途	国有林	考慮した方がよい	2
		分収育林	基本的に回避	35
		保安林	回避した方がよい	9
		土砂防備林	基本的に回避	35
	その他	採掘鉱区	回避した方がよい	9
		試掘鉱区	影響なし	1
		試掘出願地	影響なし	1
		岩石採取場	回避した方がよい	9
技術環境	斜面危険地域	地すべり防止地区	基本的に回避	35
		急傾斜地崩壊危険区域	基本的に回避	35

図2 概略ルート線引きの規則

表2 GISで作成したルート全体での指標値の合計と総亘長

ルート	指標値	総亘長 (km)
① A-B-C-D-E	826	69.3
② A-G-H-C-D-E	890	67.9
③ A-G-I-J-D-E	971	75.2
④ A-G-I-K-L-E	903	71.7
⑤ A-G-I-K-M	824	75.9
⑥ F-B-C-D-E	827	69.3
⑦ F-G-H-C-D-E	891	67.9
⑧ F-G-I-J-D-E	972	75.2
⑨ F-G-I-K-L-E	904	71.7
⑩ F-G-I-K-M	825	75.9
技術者が選定したルート	1296	81.9

4. 鉄塔工事施工性の評価

4.1. 鉄塔工事施工性の評価方針

工事施工性評価は、従来、基本ルート選定時に事前の現地調査・踏査結果を踏まえて評価するのが一般的であるが、近年は土地利用の高度化、地域住民の権利意識の高揚などから工事用地取得が難しいこと、また取得できたとしても許認可を要する場合が多いこと、さらには鉄塔の大型化による山岳地の立地が多くなっていることなどから工事施工性の評価の重要性は高まっており、計画段階でできるだけ事

前に評価しておくことが必要である。

そこで、GISを用いて工事施工性について概略ルート選定段階で事前に机上で評価する手法について検討する。ここでは工事施工性評価のために建設に必要な資材を搬入するための運搬計画と鉄塔基礎の種類から工事施工性の建設費の概算として定量的に評価し、線引きした概略ルートについて比較検討を行う。

4.2. 運搬計画の評価およびレイヤの作成

資材運搬の方法は、一般的に次の3種類があり、その違いを地形・地質および道路からのアクセス条件から以下のように定義する。

- (1) 直接搬入：車道から100m以内、かつ傾斜角11°未満の場所で、既設道路および仮設道路から搬入。
- (2) 索道設置：直接搬入が不可能な場合、車道から400m以内かつ傾斜角30°未満の場所では索道により搬入。
- (3) ヘリコプター搬入：直接搬入および索道設置では不可能な場合にはヘリコプターにより搬入。

まず、5万分の1の表層地質図より地層を未固結堆積土と固結堆積岩の2種類に分類したレイヤを作成する。ここで、未固結堆積土を平地とし、平地ではすべて直接搬入と定義する。次に、2万5千分の1の数値地図より道路を抽出し、この道路に100m、400mのバッファリングを行い、アクセス条件に関するレイヤを作成する。さらに、2万5千分の1の数値地図の標高データから、地形の傾斜角の分布のレイヤを作成する。この時のセルサイズは、使用するデータの精度と鉄塔作業用地の面積から約50m×50mとする。以上3つのレイヤを用いてベクトル演算を行い、上記の定義の条件をもとに運搬計画の分類を行って運搬計画評価のレイヤを作成する（図4）。

4.3. 鉄塔基礎の評価およびレイヤ作成

架空送電線の鉄塔で使用される基礎を地形、地質条件から以下のように定義する。

- (1) 逆T字形コンクリート基礎：地形、地質条件

図4 運搬計画の評価図

図5 鉄塔基礎の評価図

は、固結堆積岩で傾斜角 30°未満の場所および未固結堆積土の厚さが薄く支持地盤とみなせる場所に適用する。

- (2) 深礎基礎：固結堆積岩で傾斜角 30°以上の場所に適用する。
- (3) 杭基礎：未固結堆積土の場所に適用する。

まず、2万5千分の1の標高データから、地形の傾斜角の分布を作成する。この時、基礎の大きさに対応した微地形の傾斜角を評価できるようにセルサイズ5mの傾斜角に換算して算定し、これをベクトルデータに変換する。次に、5万分の1の表層地質図から未固結堆積土、固結堆積岩を区分するレイヤを作成する。ここで、未固結および固結堆積岩の両区域の境界部分については、未固結堆積土が固結堆積岩上に堆積していると想定し、境界線から未固結堆積土の方に100mの区域を表層が薄い支持地盤と考慮して領域の補正を行う。

以上2つのレイヤを用いてベクトル演算を行い、上記の条件をもとに鉄塔基礎の分類を行って、鉄塔基礎評価のレイヤを作成する（図5）。

4.4. 工事施工性の評価結果

作成した運搬計画評価のレイヤと鉄塔基礎評価の

レイヤをオーバーレイ解析し、施工性評価のレイヤを作成する（図6）。このレイヤとGISを用いて作成したルートおよび従来の方法により選定した概略ルートをラスター変換してオーバーレイ解析を行うことで、鉄塔間のスパンを500mと仮定した場合の総工事費を概算する（表3）。この時、前述の環境面で最も優位なルート⑤、また亘長の短いルート②、⑦の工事費はそれぞれ59.73、55.88、54.33億円であり、ルート⑦は最も工事費が安価なルート⑨とほぼ同額である。最も工事費の安価なルート⑨の総工事費は54.31億円であり、GISを用いて線引きしたルートと従来のルートを比較すると、GISを用いて線引きしたルートの方が安価と見積もられた。

表3 各ルートの工事費

ルート	工事費（億円）
① A-B-C-D-E	57.85
② A-G-H-C-D-E	55.58
③ A-G-I-J-D-E	59.31
④ A-G-I-K-L-E	55.56
⑤ A-G-I-K-M	59.73
⑥ F-B-C-D-E	56.61
⑦ F-G-H-C-D-E	54.33
⑧ F-G-I-J-D-E	58.06
⑨ F-G-I-K-L-E	54.31
⑩ F-G-I-K-M	58.48
技術者が選定したルート	75.84

以上のように、施工性について概略ルートの選定段階で鉄塔基礎および運搬計画から経済性として定量的に評価することができる。

5. 鉄塔の景観の評価

5.1. 景観の評価方法

環境を考慮に入れた検討を行う上で景観に対する評価は重要となってきた。従来の景観に及ぼす影響の評価は、観光パンフレットにも載っているような特定の景観を眺望する地点など、特にきわだった景観の特徴を有する地域においてCGなどの映像を利用して特定の地点からの景観を評価している例が多く見られる。また、GISを用いた景観評価でも3次元のグラフィックス機能を用いて評価する事例が見られる。しかしながら、景観について数値化し定量的な評価を実施した事例はほとんど存在しない。そこで、景観評価の一例としてGISを用いて送電鉄塔が人の視界に及ぼす影響について定量的な評価を試みる。

景観の視覚的構造は、人間の正常な眼のもつ視野と視力に関係するという考えのもとに「距離」と「仰角」という指標に基づくという説が、現在のアーバン・デザインの定説となっている(樋口, 1975)。この評価に「可視・不可視」という概念を付け加えて景観の基本的な評価を試みる。評価に際しては、近景、中景に多くの建築物が存在する平地では視認範囲は狭く鉄塔の景観に与える影響は小さくなると考え、平地以外に建設される鉄塔を対象とし、眺望点としては環境情報のうち景観が重視される自然公園および比較的人口集中度が高い地域を対象とし、これらから視認される鉄塔に対して行う。

5.2. 景観に関する評価図の作成

まず、自然公園および人口密度が高いと考えられる建物用地を抽出する。ここで建物用地は、1/10細分区画土地利用データのポイントから100mのメッシュに変換したものをを用いる。次にこれらの区域からの視認範囲(鉄塔を中心とした半径3600mの円)と、標高100m未満の区域を平地として定義し、平地以外の区域とをオーバーレイ解析し、対象

区域を設定する。この視認範囲は、仰角を考慮に入れ、視線を移動することなく対象物を明確な視覚でとらえることのできる範囲で、対象物の高さの約60倍として定義される(樋口, 1975)。

ここで、任意の1基の鉄塔を選んで今回の評価方法を説明する。まず、可視・不可視に関して、鉄塔を中心として、GISの機能により可視区域を図7(a)に示すように求める。そして、鉄塔に近接するほど鉄塔が景観に与える影響が大きいと考え、鉄塔中心から視認範囲内を等間隔に5分割する。景観が距離に及ぼす影響に関しては、定量的な評価手法は確立されていないため、今回は影響が距離に比例すると仮定して5分割し、それぞれに5段階の評点を与える。このレイヤと可視区域のレイヤとのベクトル演算を行うことで評点化された区域が図7(b)のように抽出される。次に、その可視区域が眺望点である自然公園および建物用地と重畳する区域を図7(c)のように抽出し、得られた区域の面積と点数の積を景観の評価点として鉄塔に与える。ルート付近に関して、得られた評価点のうち最も高い評価点を100として相対的に表した図を図8に示す。

5.3. 景観の評価結果

最終的にラスター変換した概略ルートを景観の評

図7(a) GISの機能を用いた可視区域の算定

表示	指標値	距離 (m)
	1	2880-3600
	2	2160-2880
	3	1440-2160
	4	720-1440
	5	0- 720

図 7 (b) 可視区域の距離に応じた指標値の区分

価図とオーバーレイ解析することで各ルートの景観への影響が指標値として表される。その結果を表 4 に示す。この結果と表 2 で示した結果より、環境に配慮した概略ルートを選定することができる。例えば、景観面で最も優位なルート ① は環境面でも優位なルートで、亘長も比較的短いものであることがわかる。また、環境面で最も優位なルート ⑤ や亘長の短いルート ②、⑦ の景観指標は、景観面で優

図 7 (c) 鉄塔の景観の評価例

表 4 各ルートの景観への影響の評価

ルート	景観の評価点
① A-B-C-D-E	1453
② A-G-H-C-D-E	2532
③ A-G-I-J-D-E	3128
④ A-G-I-K-L-E	3081
⑤ A-G-I-K-M	2995
⑥ F-B-C-D-E	1547
⑦ F-G-H-C-D-E	2626
⑧ F-G-I-J-D-E	3222
⑨ F-G-I-K-L-E	3175
⑩ F-G-I-K-M	3089
技術者が選定したルート	3906

位なルート ① や ⑥ と比べて明らかに劣っていることがわかる。また、この方法を用いると鉄塔の位置を各セル内で変化させることで景観によるルートの修正も可能となる。

6. 結論

本研究では、GIS を用いて各種環境情報、鉄塔工事施工性および景観に対してそれぞれを数値として評価することで、架空送電線の概略ルートを定量的に選定する手法の提案を行い、概略ルートの選定を試みるとともに総合的な評価を行った。

その結果、以下の点が明らかとなった。

- (1) GIS を適用することで、ルートの選定作業の効率化、簡素化を図ることができ、局所的にも全体的にも数量や指標を把握できる。そして、設計の変更などの意思決定に役立つ資料を迅速に得ることが可能となる。
- (2) 概略ルート選定段階において鉄塔工事施工性や景観に関する評価項目を付け加えることで、より現実的なルートを基本ルート選定以前に検討できる手法を提案することができた。
- (3) 環境情報や景観の評価点、各評価項目の重み付けについては、技術者との打ち合わせにより暫定的に設定した値を用いたため、ここで得られた総合的な評価点については絶対的なものではないが、今後の検討によって、このような評価点を適切に定めることができれば、従来の技術者による判断の不確実さを排除して、選定されたルートを客観的な視点から評価できる。

その結果、熟練した技術者でなくてもルート選定が可能となると共に、多くの代替案やその比較を具体的な数値として示すなど、提案した手法はルート選定を支援するための有効な手法となりうる。

今後は地域特有の様々な制約条件、例えば、既設ルート、将来の開発計画との関連、架空線のクリアランスと地形の問題、用地取得の容易さなど具体的なルート作成にかかわる要因を考慮した検討が必要となる。また、定量化に際しての指標値を適切に定める手法についても、実際の現場に対して数多くの試行を行うことでそれぞれの要因に対する評価点を適切に定めることができると考えられる。

参考文献

- 加藤二二和・金田和文・新藤 誠・平田治彦・山下英生（2000）送電線ルート検討システムの開発，「電気学会論文誌 B 電力・エネルギー部門誌」，Vol. 120-B, pp382-389, No.3.
- 送電線建設技術研究会（1984），『架空送電線路調査測量基準解説書』，電気書院。
- 富田芳昌（1996）送電線ルート選定支援システム，「送電線建設資料」，第 42 集，pp.1-29.
- 樋口忠彦（1975）『景観の構造』，技報堂出版，pp.10-82.

図1 環境への影響度を指標値で表した総合環境特性図

運搬計画	鉄塔基礎	工事費(百万円/基)	表示
直接搬入	逆T	14.30	□
	杭	56.28	■
索道設置	逆T	16.28	■
	深礎	40.46	■
ヘリ搬入	逆T	41.72	■
	深礎	93.34	■

図6 鉄塔工事施工の評価図

図3 総合環境特性図をもとに作成したルート

図8 景観に与える影響の評価図