

## 資料11 誘導雷サージ

### 11-1 雷放電機構の概要と誘導雷サージ

#### 1. 雷放電機構の概要

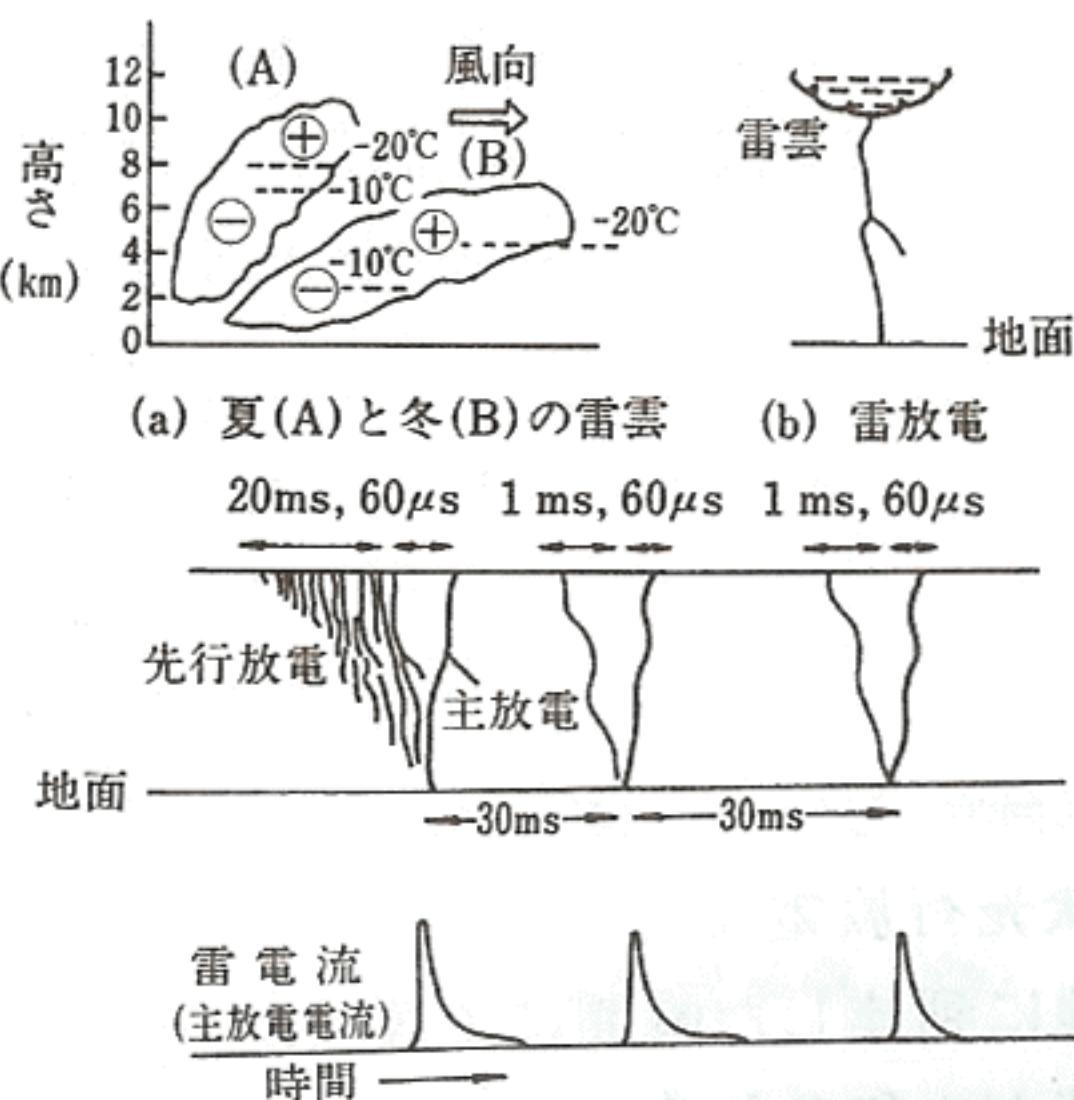
雷放電は、

- a 1つの雷雲の中、又は2つの雷雲の間で発生する雲間放電
- b 雷雲の下部の電荷とこれによって地上に誘導された電荷との間に発生する対地雷放電、すなわち落雷

に大別される。電力施設、その他の地上施設の被害は、この落雷に起因するものである。

##### ① 雷放電の特性

雷放電は、11-1 図(b)に示すように1条の電光が走るようにみえるが、その時間経過でみると、まず雷雲から先行放電（普通、ステップリーダと呼ばれる。）が出発し、進展と休止を繰り返しながら、その先端が大地に接近したとき、大地側から上向きのストリーマが出発し、両者が結合する。このとき、大地から多量の電荷が先行放電路に注入されて、主放電（普通、リターンストロークと呼ばれる。）が雷雲に向かって進行するもので、強い輝度は主放電の際に生ずる。

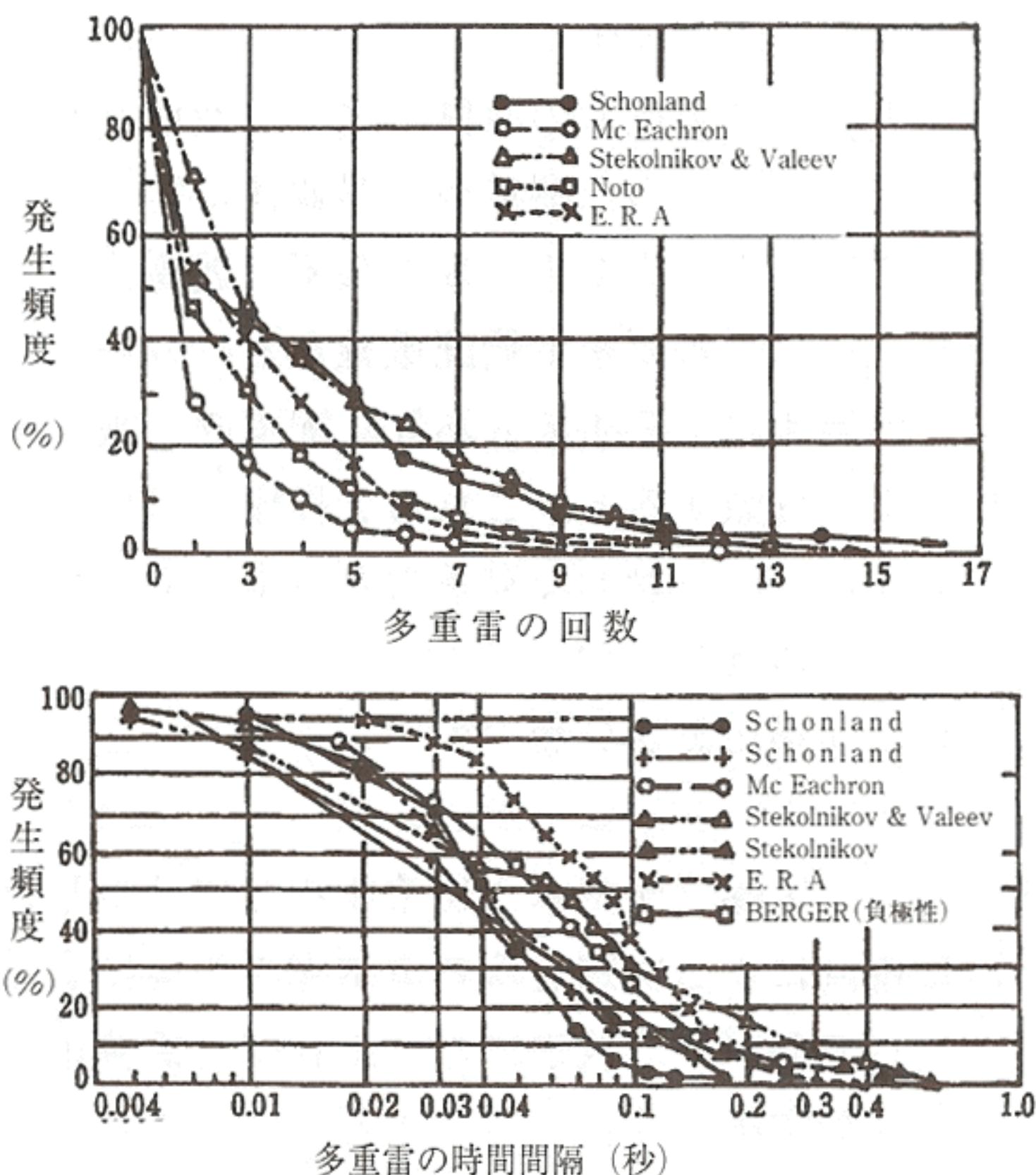


11-1 図 雷放電

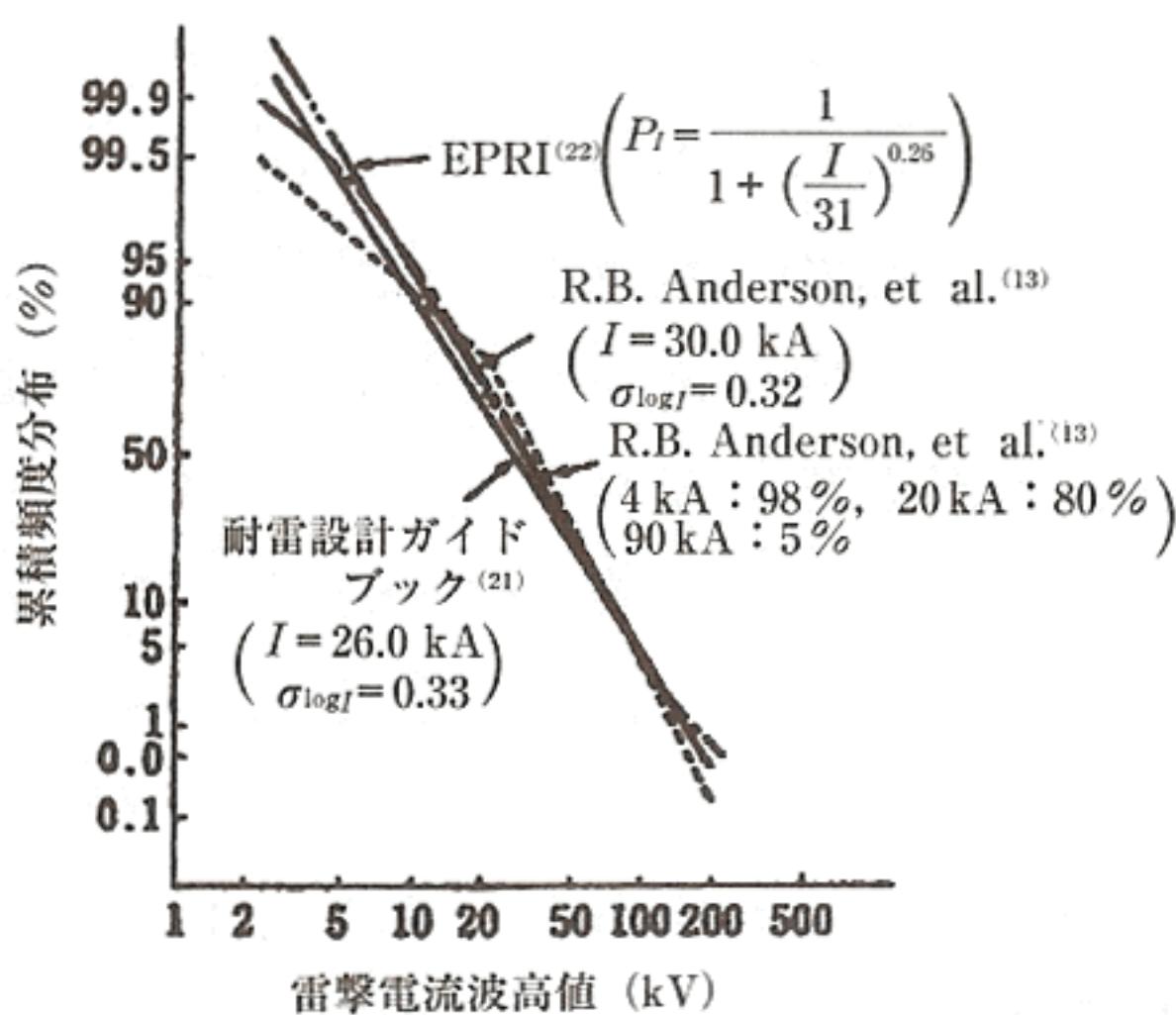
(電力中央研究所研究報告：175030)

ここでは、雷害防止の対象となる雷サージ発生に関する事項について述べる。

- a 先行放電は、50m程度進展すると $30\sim90\mu\text{s}$ （平均約 $50\mu\text{s}$ ）休止するという段階的過程を繰り返しながら次第に大地に接近するが、その平均進展速度は $1.5\times10^5\text{ m/s}$ 程度であって、雷雲の高さを3kmとすると先行放電の先端が大地に接近するまで約 $20\mu\text{s}$ かかる。また、先行放電1段階の進展は $2\sim3\mu\text{s}$ 以内に完了し、先行放電が進展と休止を繰り返しながら、その先端が大地に接近した際の大地に対する電位は、数千万～1億V程度とみられている。
- b 先行放電の先端が大地に接近すると、その直下の大地面周辺の電界が大きくなり、地上物体（例えば、樹木、配電設備など）から、先行放電の先端に向かって上向きのストリーマが発生するようになり、このうちの1つが先行放電の先端と結合すると主放電に移行する。
- c 主放電が始まると、先行放電と反対極性の電荷の流れ（雷電流）が先行放電路を通路として大地から雷雲に向かって進行し、先行放電路の電荷及び雷雲の電荷の一部を中和する。この主放電の所要時間は数十～ $100\mu\text{s}$ 程度、その先端の進行速度は大地面近くで光速度（ $3\times10^8\text{ m/s}$ ）の $1/10\sim1/3$ 程度、雷雲近くで光速度の $1/10$ 程度とみられている。
- d 以上で1回の雷放電が完了するが、雷雲中の導電率は比較的小さいので1回の主放電で雷雲の全部の電荷が中和されていない場合が多く、ある時間（数十～数百 $\mu\text{s}$ ）の後、引き続いて同じ経路を通って、第2、第3…の放電が生じることが多い。これを多重雷といつて、11-2図にみられるように雷放電のうち2回以上の放電を伴うものが数十%あり、また、多重雷の継続時間が1秒を超えるものもある。多重雷を構成するそれぞれの放電を分放電と呼んでおり、11-1図は、三つの分放電（コンポーネントストロークと呼ばれる。）からなる場合を示している。
- e 雷放電電流（主放電電流）は、数kA～200kA前後の広い範囲のものが実測されており、このうち100kA以下のものが大部分である。（11-3図）



11-2図 多重雷の回数と時間間隔



11-3図 雷撃電流頻度曲線（例）

## ② 配電線の脅威となる雷の種類

配電線は、送電線や発変電所の設備に比べ、使用されるがいしや各種機器の絶縁強度が低いことから、配電用機器並びに需要家の受電用機器は絶縁レベルが低いことから、直撃雷のみならず、近傍落雷時の誘導雷も事故原因となる。また、山頂需要家供給配電線などにみられる需要家設備への落雷時の雷電流の逆流による事故もあり、配電線に被害を及ぼす雷を雷過電圧発生様相により分類すると、これら3種類が挙げられる。このほか、季節により分類すると、一般的な夏季雷と日本海沿岸など特定地域にみられる冬季雷とに分けられる。

### a 雷過電圧発生様相による分類

#### (a) 誘導雷

誘導雷は、配電線近傍樹木や建造物などに落雷した場合に、雷放電路を流れる電流による線路近傍の電磁界の急変により生じる過電圧である。テレビやラジオの放送にたとえれば、雷放電路を電波の発生するアンテナ、配電線を受信アンテナと考えることができる。

#### (b) 直撃雷

直撃雷は、文字どおり、配電線へ雷が直撃した際に発生する過電圧で、流入電流、発生電圧ともに極めて大きなものになる。直撃雷とも、配電線の相導体だけでなく、コンクリート柱、架空地線など、すべての配電線構成物へ落雷した場合をさす。

#### (c) 逆流雷（建造物落雷時の雷電流の逆流現象）

建造物やアンテナ設備へ落雷した際に、その構造物の接地抵抗が高いと接地電位上昇が大きくなり、電源を供給している配電線側へ雷電流の一部が侵入することがある。この場合、建造物の電源構成などによっては、建造物側で雷被害がなく、配電線側だけで事故が生じることもある。高度情報化社会の進展に伴い、放送用アンテナや無線中継局等の増加傾向があり、従来取り沙汰されていなかった事項がクローズアップしてきたといえる。

### b 発生季節による分類（夏季雷及び冬季雷）

夏季雷は、夏季に発生する通常の雷であるが、冬季雷は、日本海沿岸などの特定地域にみられ、夏季雷に比べて、雷雲すなわち雲中の電荷の位置が非常に低く、落雷には次のような特徴がある。

#### (a) 全体の落雷数は少ないが、高構造物へ集中する傾向がある。

- (b) 水平方向に進展する雷擊がある。
- (c) 雷擊の継続時間が非常に長いことがある。このため、雷が配電線に直撃した場合に、大地への放電経路となる線路や避雷器などのエネルギー処理量が極めて大きくなるため（夏の雷の数百～数千倍程度になることもある。），夏季雷と異なる事故様相を示すことがある。
- (d) 夏季雷に比べて、雷擊電流に正極性のものが多い。（30～50%，夏季雷は約5%）

### ③ 危険な誘導雷の発生頻度

需要家の受電用機器は絶縁レベルが低いことから、直撃雷を受けた場合には避雷器等によって完全に保護することは困難であるため、需要家では誘導雷サージを抑制することに主眼をおいている。

あらゆる落雷は線路に誘導電圧を発生させるが、このうち線路の絶縁を超過するものは近傍に落雷したものに限られる。配電線に生じる誘導雷は線路地上高、雷擊電流の波頭値、波形、進展速度など多くのパラメータに影響される。

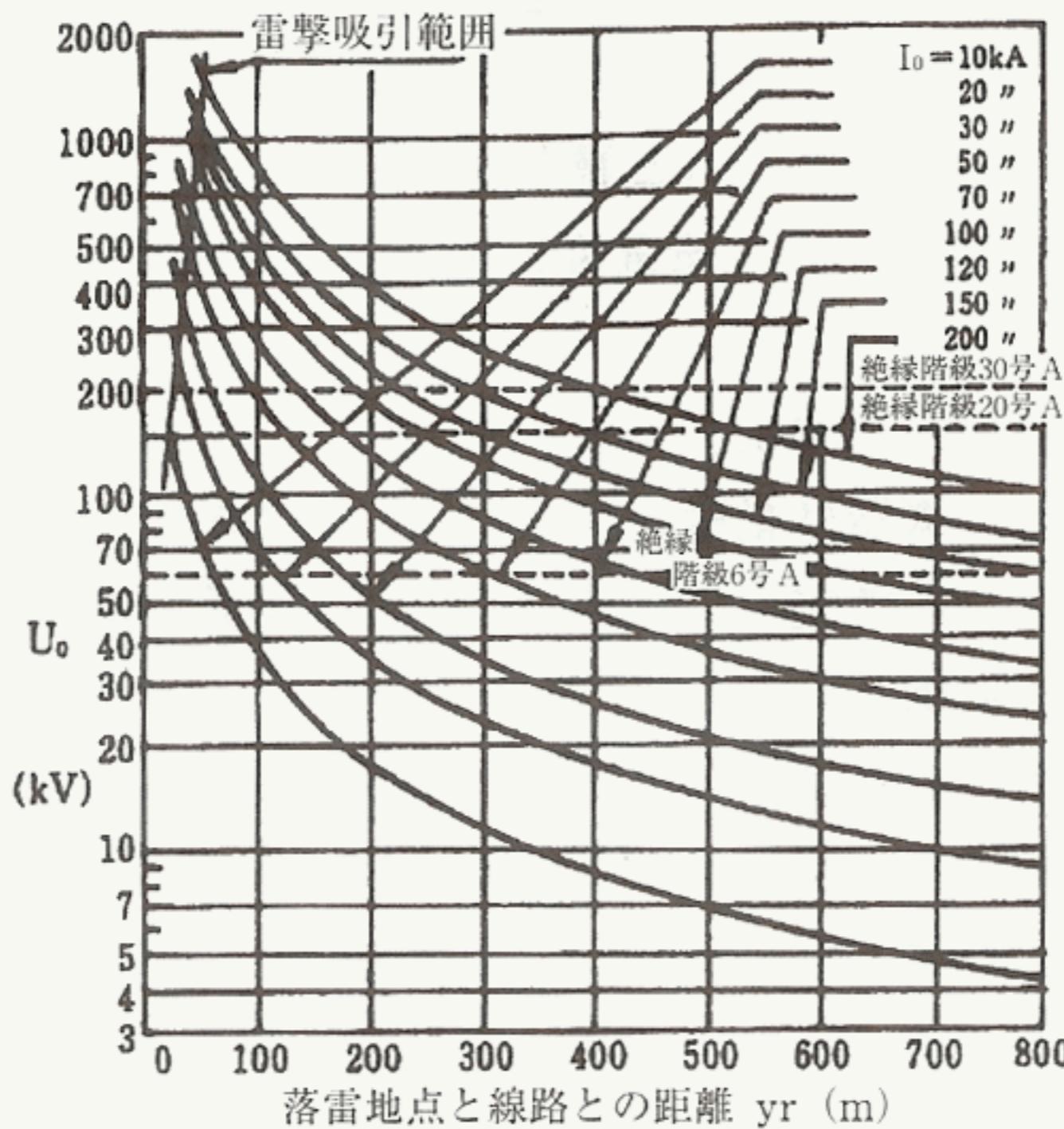
11-4図は落雷地点と線路導体との距離 $y$ と主放電による誘導電圧 $U_0$ の関係を線路導体の地上高10mの場合について示したものである。例えば、落雷電流が50kAの時は落雷地点と線路導体の距離が約300m以内の際に、落雷電流が25kA程度の時は同距離が約150m以内の際に、6.6kV線路の雷インパルス絶縁強度60kVを超過する誘導雷電圧が発生することが予測される。また、誘導雷サージは、線路の末端あるいは屈曲点とその近くでは落雷地点との相対位置によっては、直線状線路の場合より苛酷な値になることがあるので、この点も留意する必要がある。

以上のように、誘導雷サージをとっても、6.6kV線路の雷インパルス絶縁強度を超過する機会がかなりあるとみられる。

### ④ 誘導雷サージの発生回数

需要家受電設備の信頼度を低下させないためには、その地域の襲雷頻度を正確に把握することが肝要である。襲雷頻度の把握には、一般に年間雷雨日数分布（IKLマップ、Isokeraunic Level Map）が用いられている。11-5図のIKLマップは、昭和29年度から昭和38年度の10年間の統計結果であり、全国の緯度、経度15分毎のます目（約25～27km）毎に、1年当たりの平均雷雨日数を示したものである。関東北部、岐阜・琵琶湖周辺、北陸、九州南部などは襲雷が頻繁で、35日以上に及ぶところもある。特に

東北地方から北陸地方にかけての日本海沿岸地域は冬季雷がかなり多いが、内陸では夏に多く、冬は極めて少ない。

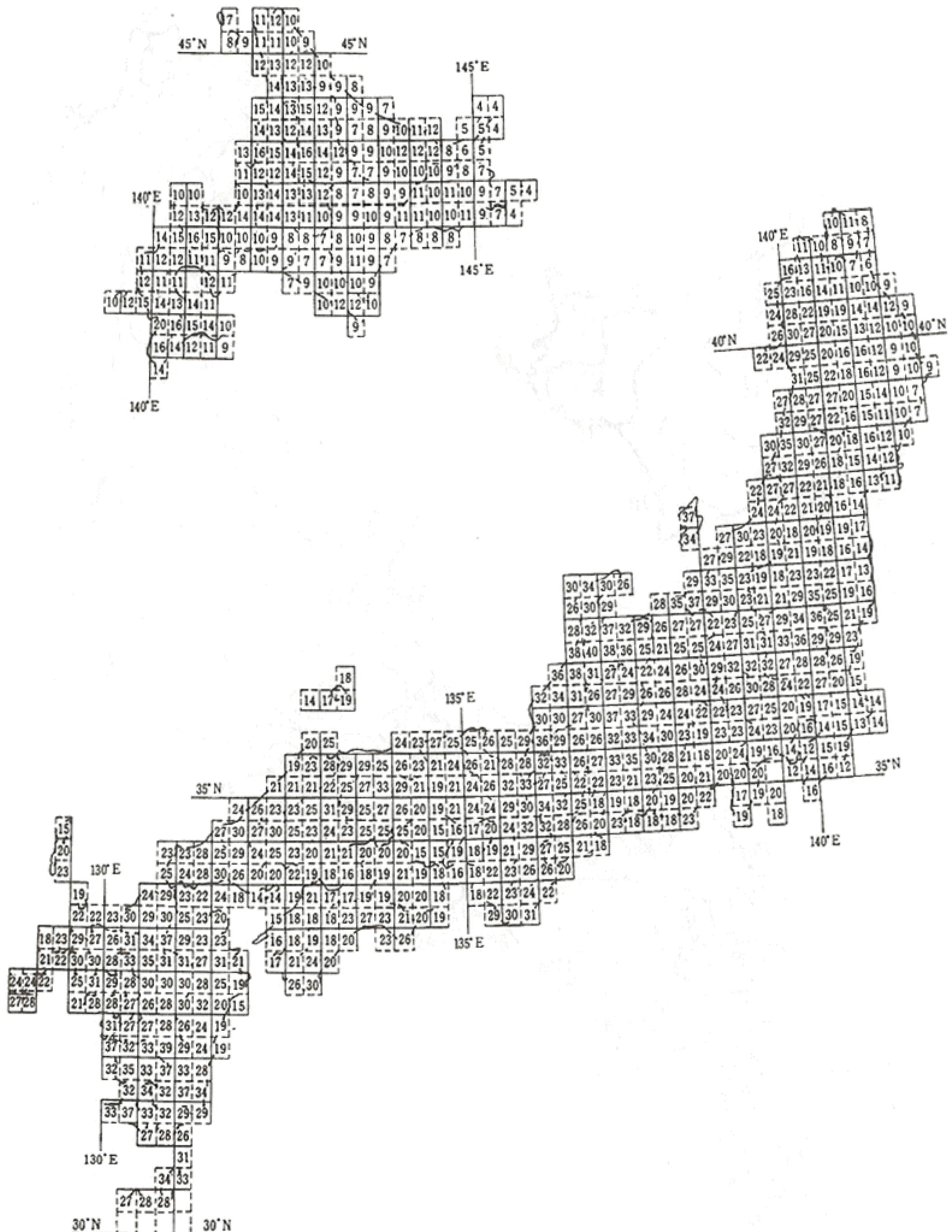


(電力中央研究所研究報告：175030)

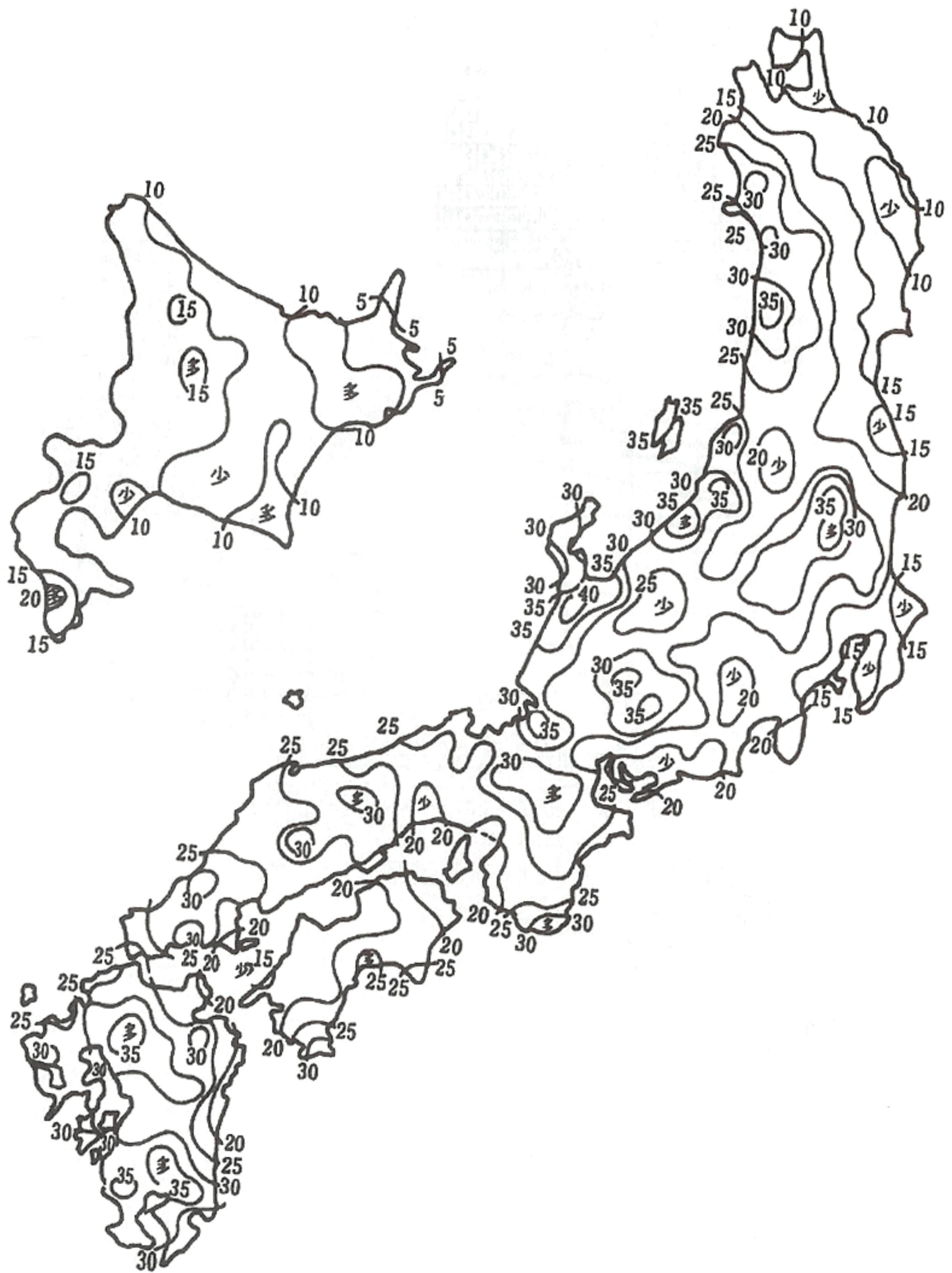
11-4 図 主放電による誘導雷サージ  $U_o$  (地上高10m の場合)

また、各地域の夏季（6～9月）における雷放電度数の実測結果を集約したのが11-6図であり、夏季の雷雨日数が多い地域では雷放電度数が大きな値となっている。

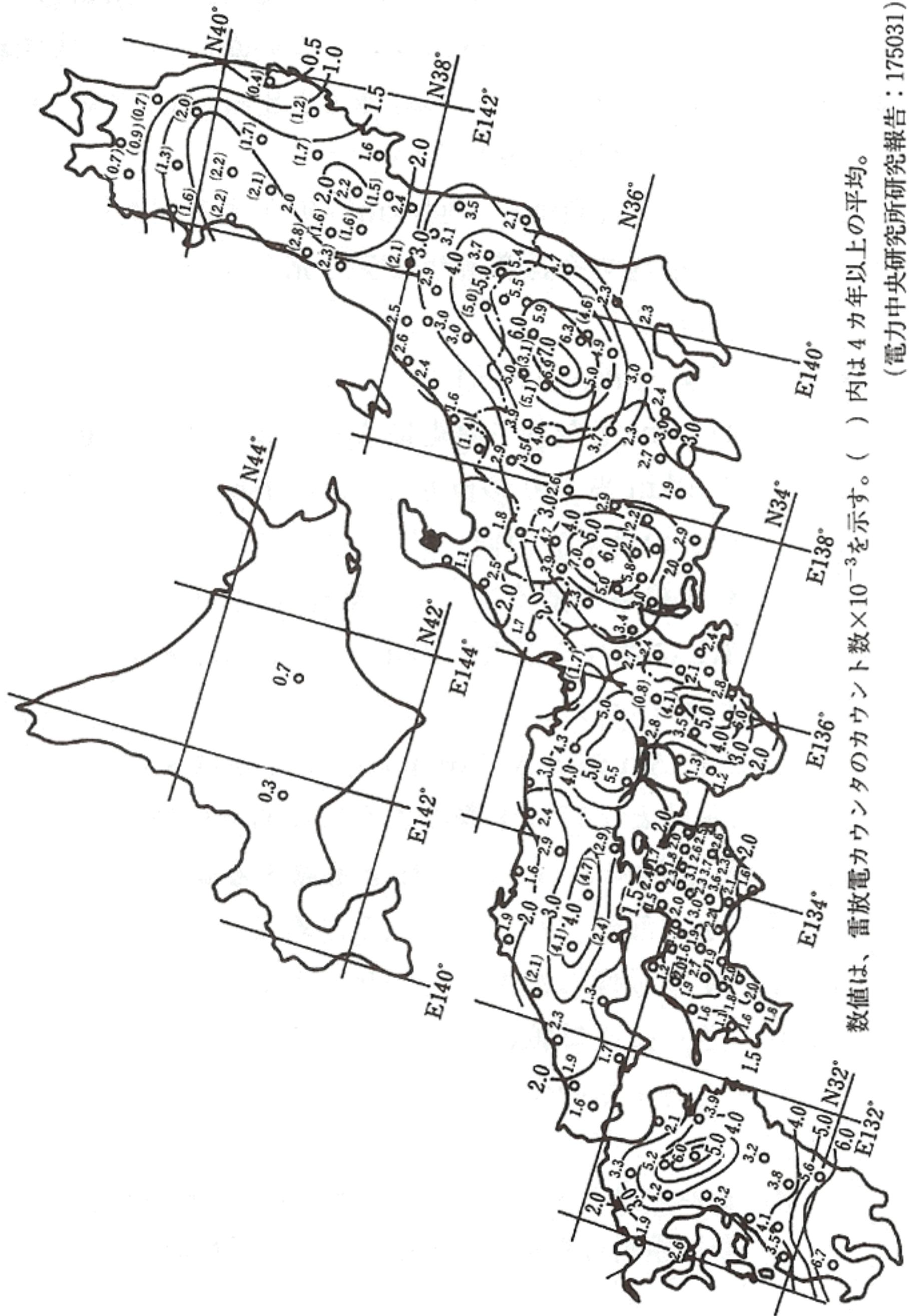
IKLマップは、以上マクロにみた襲雷頻度の判定には有益であるが、1配電線や1需要家受電設備を対象とする場合、その所在地域は同図の一部を占めるにすぎない場合が多いので、雷雨の発生原因や移動を考えると、その年間雷雨日数は同図の値より少ないとみてよく、過去に9電力会社の雷害測定対象配電線で調査した結果では、ほぼ $1/2 \sim 1/3$ 以下であり、 $1/3$ 以下のものが多くなっている。したがって、ミクロ的にみた各地域の襲雷頻度を正確に知ることが難しい場合もある。夏季の雷雲は山岳地方に発生して、平野部に移動し、その移動経路が河川の流れのような流帯を構成するものが多く、各地方でその発現に種々な特徴がある。これは雷多発地帯では経験的に○○山系の雷というように認められてきている。この流帯、すなわち襲雷経路を統計的な調査でミクロ的に知ることは、重要である。



11-5 図(1) 年間雷雨日数分布 (IKL ます目, 10年平均)



11-5 図(2) 年間雷雨日数分布（等日線図、10年平均）



11-6図 雷放電度数分布図（昭和39年～49年平均（6～9月））

なお、雷害防止に直接関係する落雷頻度は、雷の発生状況、地形、気象条件など地域の状況で異なり、一概にはいえないが、内外の実測結果によると年間雷雨日数30日（全国平均）の地域で2.8~5.9回/km<sup>2</sup>/年の範囲にあり、平均4回/km<sup>2</sup>/年程度とみてよい。

IKL = 30日のときの落雷頻度を4回/km<sup>2</sup>/年とする配電線路亘長の雷インパルス絶縁強度を超過する誘導雷サージの発生回数は、次式によって、大まかな目安が得られる。

$$N_r = k_1 / U_{lb} - N_d \quad \dots\dots(1)$$

ただし、 $N_r$ ：年・km当たり主放電による誘導雷サージ発生回数

$N_d$ ：年・km当たりの直撃雷回数 (IKL = 30で線路導体地上高10mのとき0.34回)

$U_{lb}$ ：配電線路の雷インパルス絶縁強度

$k_1$ ：IKLに関する定数 (IKL = 30日、線路導体地上高10mのとき  $k_1 = 112$ )

線路地上高10mと15mのときの絶縁レベルを超過する雷サージ発生回数を(1)式をもとに示すと、11-1表のようになる。6.6kV線路の雷インパルス絶縁強度60kVを例にとると、これを超過する雷サージ発生回数のうち、誘導雷サージが大部分（80%以上）を占めることがわかる。したがって、高圧需要家の受電設備の雷害防止においては、まず誘導雷サージの抑制が必要であり、さらに直撃雷による重大事故や被害発生の防止についても考慮するとの考え方を指向するのが適切といえる。

11-1表 線路絶縁レベルを超過する雷サージ予想発生回数  
(年間雷雨日数30日、4回/km<sup>2</sup>/年の落雷があるとした場合)

		$V_{50}$ [kV]	60	80	100	125	150	165	175	200	220	250
		地上高 h										
発生回数	直撃雷回数	10m	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	
	$N_d$	15m	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	
主放電による誘導雷回数	10m	1.53	1.06	0.78	0.59	0.41	0.35	0.30	0.22	0.17	0.11	
	15m	2.49	1.74	1.25	0.9	0.67	0.57	0.51	0.38	0.33	0.24	

注：発生回数は回/km/年で示している。