

# アメダスデータによる北海道全域の 降雨係数の算出

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 水利基盤チーム ○鶴木 啓二  
古檜山 雅之  
中村 和正

北海道全域を対象に、10分値の降雨データが揃っている196地点のアメダスデータ（10分値と60分値）を用いて汎用土壌流亡予測式（USLE）の降雨係数を算出した。USLE本来の降雨係数の算出方法に合致した10分値データを用いた結果と、10分値データよりも観測期間の長い60分値データを用いた結果を比較検討し、観測点ごとに降雨係数の平均値を算出した。算出した値はGISで整理し、北海道内における分布図を作成した。

キーワード：USLE、土砂流出、農地防災

## 1. はじめに

北海道では道南や道東を中心として火山灰土壌が広がり、そこでは畑作農業が広く行われている。これら地域の傾斜畑圃場の一部では、降雨や融雪により表面が侵食されて土壌流亡が生じやすい状況にある。これにより、排水路では土砂が堆積して排水機能が低下し、農地では浸水や過湿により作物生育の障害となっている。また、排水路に流入した土砂は下流の湖沼や湿地等に流出し、土砂に含まれる富栄養化物質とともに水環境を悪化させ、水生生物の生育環境や漁業への影響が問題となっている。

農業農村整備事業では農地防災事業や環境保全型かんがい排水事業など排水路関連事業において、土砂や栄養塩類の下流への流出を抑制するために沈砂池を整備してきた。沈砂池の容量決定には、経験モデルであるUSLE（汎用土壌流亡量予測式、Universal Soil Loss Equation）を用いることが多い。その場合、当該地区の代表的なパラメータを定めて単位面積当たりの年間流亡土量を求め、これに面積を乗じた数値を1年間に流域から流出する土砂量とし、この土砂量をもとに沈砂池の堆砂容量を決定している。

USLEのパラメータの一つに降雨または融雪による受食性を表す指標として降雨係数がある。USLEの適用方法は「土地改良事業計画指針 農地開発（改良山成畑工）」<sup>1)</sup>（以下、事業計画指針と記す）のなかで解説されているが、この中で示されている北海道の降雨係数は7地点（稚内、網走、旭川、札幌、室蘭、函館、帯広）と少ない。また、算出期間は1959年から1973年までとデータが古く、かつ期間が短い。さらに、1時間の降雨データから求めた値を10分値データから求めた値に換算する係数も示されていない。そのため、実際の適用においては、算出地点近傍の最新の気象データを用いる場合や上記7地点のうち算出地点から最も近い地点のデータを用

いる場合、他の既往の研究成果を引用する場合など、対応は様々であった。

本稿では、上記の状況を解消するために、北海道の気象台やアメダス等で観測されている降雨データを用いて全道の降雨係数の分布状況を整理したので報告する。

## 2. USLEの概要<sup>2)</sup>

USLEは米国農務省を中心に開発され、同国の農地保全基準として採用されてきた。USLEによる流出土砂量予測の目的は、侵食を引き起こす要因を定量評価し、その地域に適合する保全方法の指針を与えることにある。日本においても、農地の保全対策の基礎となる土壌流亡量の予測方法として事業計画指針のなかで解説されている。

USLEは降雨毎の流亡土量を予測するのではなく、長期間の平均的な土壌流亡量を予測するために用いられる。USLEによる土壌流亡量の予測は6つの係数の積で次式のように表される。なお、本稿の単位系は事業計画指針と同じものを用いた。

$$A = RKLSCP$$

A：単位面積当たり流亡土量 ( $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ )

R：降雨係数 ( $\text{t} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )

一連降雨（無降雨時間6時間以内）の降水量が0.5inch（12.7mm）以上、または15分当たりの降雨強度が0.25inch（6.35mm）以上と定義される侵食性降雨の運動エネルギー  $E$  とその降雨の最大30分間降雨強度  $I_{30}$  の積  $E I_{30}$  の年間合計値である。積雪寒冷地では融雪流出も考慮する。

K：土壌係数 ( $\text{h} \cdot \text{m}^{-2}$ )

単位降雨当たりの流亡土量を与える係数で、その地域の土壌の受食性を示す指標である。

LS:地形係数(無次元)

傾斜地における勾配と斜面長の影響を表す係数である。斜面長係数  $L$  と傾斜係数  $S$  として設定されているが、地形係数  $LS$  として適用されることが多い。

C:作物係数(無次元)

作物被覆と営農管理の影響を表す係数で、裸地に対する流亡土量の比である。作物ごとの標準値が整理されている。

P:保全係数(無次元)

畝立て方向、等高線栽培など保全的耕作の効果を示す係数で、平畝、上下耕に対する流亡土量の比である。

### 3. データ整理

#### (1) 使用データ

本稿で降雨係数の算出に使用した降水量のデータは、北海道内の气象台、測候所、特別地域気象観測所(旧測候所)、地域気象観測所(アメダス)地点のうち、1994年から2009年までの10分値の降水量データが揃っている196地点の1時間値と10分値の観測値である(図-1)。1時間値は1976年から2009年まで、10分値は1994年から2009年までである。10分値は1994年4月から観測開始した地点が大部分であるが、1時間値は観測点により開始時期が大きく異なる。なお、礼文島の船泊アメダス(2003年10月16日まで観測)と礼文アメダス(2003年10月17日から観測)は同一地点として礼文アメダスで整理した。

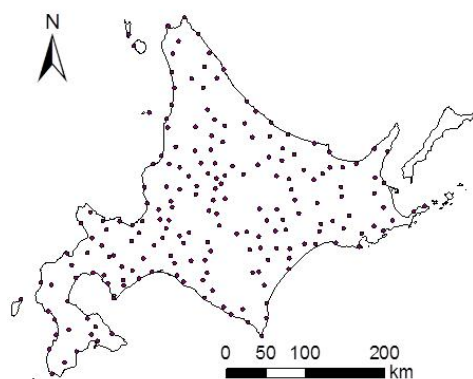


図-1 データ取得地点

#### (2) 降雨係数の算出方法

USLEによる侵食性降雨の定義は前章で示したが、USLEが開発された米国と日本では降水量の観測態勢が異なるので、本稿では侵食性降雨を一連降水量が13mm以上(無降雨時間6時間以内)、または一連降雨が13mm未満であっても

4.5 mm/10 min以上の降雨強度がある場合と定義した。

水食は降雨と融雪により引き起こされ、降雨係数も降雨流出係数( $R_r$ )と融雪流出係数( $R_s$ )の年間値の和として算出される。降雨流出係数は4~11月の降水量、融雪流出係数は前年12月~当該年3月の降水量から算出した。

降雨流出係数は、ひと雨ごとに算出される降雨侵食指数(EI値)の積算値である。10分値データの場合は最大30分降雨強度( $I_{30}$ )を用いた  $EI_{30}$  を、1時間値データの場合は最大60分降雨強度( $I_{60}$ )を用いた  $EI_{60}$  を算出し、それぞれの年間積算値を当該年の降雨流出係数  $R_{r_{10}}$ 、 $R_{r_{60}}$  とした。

$$R_{r_{10}} = \sum EI_{30} \div 100 \quad (\text{tf} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1})$$

$$R_{r_{60}} = \sum EI_{60} \div 100 \quad (\text{tf} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1})$$

$$E = (210 + 89 \log I) \times r \quad (\text{m} \cdot \text{tf} \cdot \text{ha}^{-1})$$

ここに、 $E$  :一連降雨の降雨エネルギー

$I$  :区間雨量の降雨強度 ( $\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$ )

$R$  :区間雨量 ( $\text{cm}$ )

融雪流出係数は、USLEの定義どおり降雨流出係数算出の前年12月から当該年3月までの降水量( $\text{cm}$ )を1.0倍することで求めた。この算出方法について長澤<sup>2)</sup>は、土壌凍結が無い地域では値が過大になる場合があると指摘しているが、本稿ではUSLEの本則通りの算出方法とした。

### 4. 結果と考察

#### (1) 降雨流出係数

##### a)採用データの検討

前章にて10分値と1時間値のデータを用いる場合の降雨係数の算出方法を示したが、USLE本来の算出方法は10分値を用いた場合に近い。しかし、日本で広域に10分間隔での降水量観測が始まったのは1994年からである。そのため1992年に発行された事業計画指針では、1時間値で降雨流出係数( $R_{r_{60}}$ )を求めたのちに  $R_{r_{10}}$  への換算のための係数( $EI_{30}/EI_{60}$ 比)を乗じることとしている。現在は10分値データの蓄積が進んでいるため  $R_{r_{10}}$  の算出は可能だが、1時間値に比べて観測年数が少ないため、データに偏りのあることが想定される。そこで、1時間値の1976-2009年、1994-2009年のデータを用いて降雨流出係数を算出し、算出期間による降雨流出係数の違いについて検討した。

表-1に1時間値データを用いた降雨流出係数( $R_{r_{60}}$ )の1976-2009年と1994-2009年の平均値等を示す。具体的な数値は代表点として气象台と測候所のみ示した。二つの期間の  $R_{r_{60}}$  の比は最大で1.25、最小で0.81となり、観測地点により最大で2割程度過大または過小に算出されることが分かった。しかし、二つの平均値の差を検定(t検定)すると、全地点において5%水準で有意差無し、すなわち平均値に統計的な差は無いという結果となった。一方、気象学では30年を平年値算出の統計期間としていることから、降雨流出係数についても1976-2009年の平均値が気象学的な平年値に近似して

いると考えられる。以上に加え、後述するように $R_{r_{60}}$ と $R_{r_{10}}$ には高い相関があり、 $R_{r_{60}}$ から $R_{r_{10}}$ の推定が可能であることから、観測期間の短い10分値により降雨流出係数を算出するよりも観測期間の長い1時間値で算出した方が平均的な値が求められると考えられる(表-2)。

表-1 算出期間の異なる $R_{r_{60}}$ の比較

観測地点	降雨流出係数( $R_{r_{60}}$ )		(B)/(A)	t検定* (p値)
	1976-2009	1994-2009		
	年の平均(A)	年の平均(B)		
稚内	76	95	1.24	0.146
旭川	74	77	1.04	0.841
札幌	82	77	0.94	0.708
網走	46	47	1.02	0.901
釧路	124	130	1.04	0.750
帯広	75	77	1.03	0.832
室蘭	142	150	1.06	0.650
函館	117	124	1.07	0.617
全地点最大値			1.25	0.997
全地点平均値			1.06	0.612
全地点最小値			0.81	0.053

\*平均値の差の検定

表-2  $R_{r_{60}}$ と $R_{r_{10}}$ の比較

判断基準	1976-2009年の データによる $R_{r_{60}}$	1994-2009年の データによる $R_{r_{10}}$
USLEの定義 ( $R_{r_{10}}$ から換算可)	△	○
気象学的	◎	×
統計学的	○	○
総合評価	○	△

### b) $R_{r_{10}}/R_{r_{60}}$ 比の検討と全道の降雨流出係数

先述したように、USLEの適用において $R_{r_{60}}$ により土砂流出量を算出するには $R_{r_{60}}$ を $R_{r_{10}}$ に換算するための係数( $EL_{30}/EL_{60}$ 比)が必要であるが、事業計画指針に値は示されていない。また、 $R_{r_{60}}$ を $R_{r_{10}}$ に換算するのであるから、ひと雨ごとに算出される $EL_{30}$ と $EL_{60}$ の比ではなく、 $R_{r_{60}}$ を $R_{r_{10}}$ の比を直接求めればよい。辻ら<sup>4)</sup>は、道内8地点(函館、室蘭、札幌、旭川、稚内、釧路、網走、帯広)における1976年から1987年の降雨データを用い、道内平均で $R_{r_{10}}/R_{r_{60}}=1.51$ という値を示している。しかし、北海道内においても、雨の降り方は日本海側、太平洋側、オホーツク海側など地域により異なることが知られていることから、 $R_{r_{10}}/R_{r_{60}}$ 比にも地域性のあることが予想される。そこで、1994-2009年の $R_{r_{10}}/R_{r_{60}}$ 比を算出し、道内の分布状況を調べた。算出対象期間は短いですが、後述するように相関性が十分に高いので問題ないと判断した。

表-3に气象台、測候所、特別地域気象観測所の $R_{r_{10}}/R_{r_{60}}$ 比を示す。 $R_{r_{10}}/R_{r_{60}}$ 比は最小1.37、最大1.85、平均1.62とばらついていて、つぎに、道内全域の状況を見るために分布図を作成した(図-2)。図化にはGISソフトウェアのArcGIS 10.0を用いた。地域的な傾向が明らかにみられ、日本海沿岸の一部(江差南部、石狩、留萌と宗谷の一部)、空知、上川で大きく、太平洋沿岸東部に向かうに従って小さくなった。これにより、 $R_{r_{60}}$ を $R_{r_{10}}$ に換算するには、地域を考慮した $R_{r_{10}}/R_{r_{60}}$ 比を用いる必要のあることが示唆された。

以上により、1976-2009年のデータにより算出した $R_{r_{60}}$ の平

均値に観測点ごとの $R_{r_{10}}/R_{r_{60}}$ 比を乗じて北海道全域の降雨流出係数を算出した(図-3)。道南や太平洋岸西部で大きく、オホーツク海沿岸南部で小さくなっていることが分かる。

表-3 气象台、測候所、特別地域気象観測所の $R_{r_{10}}/R_{r_{60}}$   
(1994-2009)

観測地点	$R_{r_{10}}/R_{r_{60}}$	相関係数	観測地点	$R_{r_{10}}/R_{r_{60}}$	相関係数
稚内	1.76	0.97	紋別	1.47	0.95
北見枝幸	1.59	0.97	網走	1.61	0.98
旭川	1.85	0.98	根室	1.46	0.95
羽幌	1.76	0.98	釧路	1.37	0.93
留萌	1.74	0.98	帯広	1.44	0.91
札幌	1.61	0.95	広尾	1.39	0.99
岩見沢	1.70	0.99	苫小牧	1.57	0.93
小樽	1.68	0.96	室蘭	1.60	0.94
倶知安	1.67	0.97	浦河	1.71	0.98
寿都	1.74	0.93	函館	1.61	0.95
雄武	1.60	0.93	江差	1.74	0.97

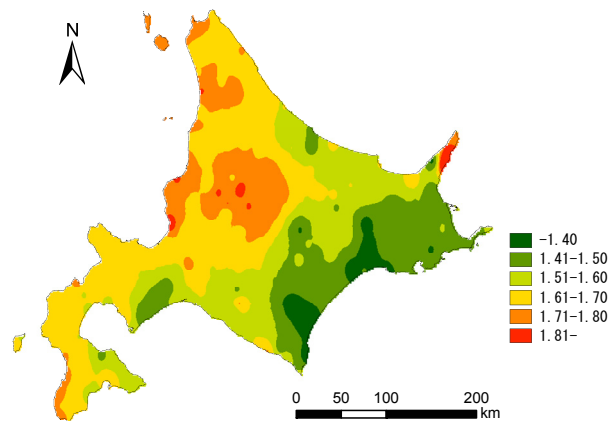


図-2 北海道における $R_{r_{10}}/R_{r_{60}}$ 比の分布図  
(1994-2009年の平均値)

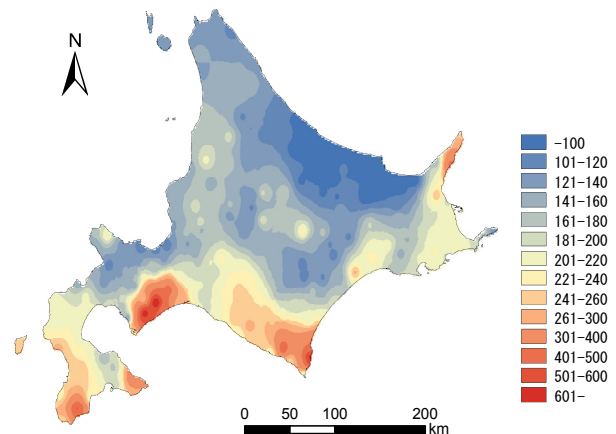


図-3 北海道における降雨流出係数の分布図  
(1976-2009年の平均値)

### (2) 融雪流出係数

図-4に全道の融雪流出係数の分布図を示す。融雪流出係数は算出方法で示したように、対象年の前年12月から対象年の3月までの降水量の総量で決定されるため、10分値と

1時間値で違いは無い。全体的な傾向として、日本海側で大きく、太平洋沿岸東部、オホーツク海沿岸南部に向かうに従い小さくなった。

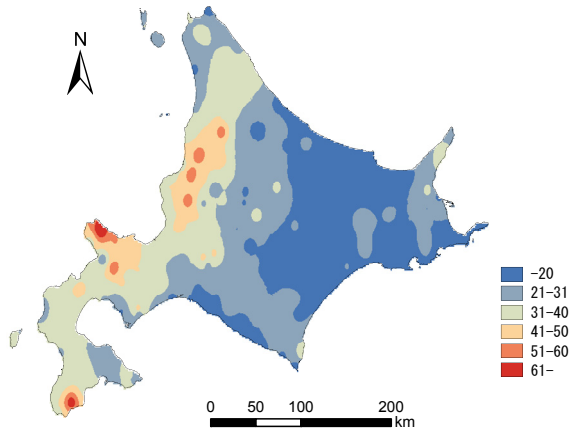


図-4 北海道における融雪流出係数の分布図  
(1976-2009年の平均値)

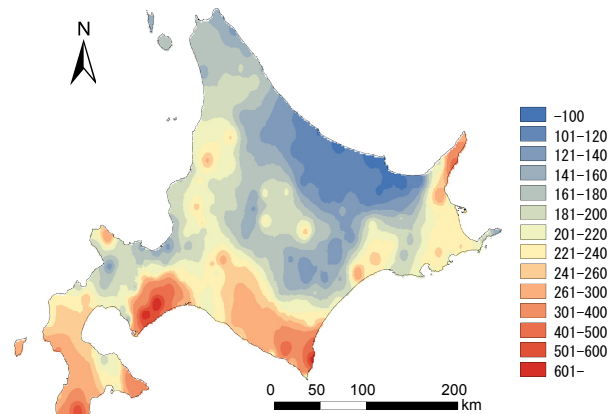


図-5 北海道における降雨係数の分布図  
(1976-2009年の平均値)

### (3) 降雨係数の年間平均値

前節までの検討をもとに、北海道の降雨係数(=降雨流出係数+融雪流出係数)の分布図を作成した(図-5)。先述した辻ら<sup>4)</sup>の報告でも同様の図を作成しており、道南の噴火湾付近や釧路付近で高く、道央・道北に向かうに従い低くなると記していた。本稿の検討でも、同様の傾向はみられるが、地点数が多くなったことで、道南全域や根室地域、空知など日本海寄りの内陸部でも比較的値が大きいことなど道内での分布の詳細が明らかとなった。

最後に、事業計画指針に示されている降雨係数との比較を表-4にまとめた。1976-2009年の値の算出方法は事業計画指針通りとしている。各地点ともオーダーは合っているが、地点によっては2割程度異なっていた。これは4(1)a)で示したように、算出の対象データ期間が短いことによるデータの偏りに起因すると思われる。

## 5. おわりに

北海道全域を対象に気象庁の観測データを用いて汎用土壌流亡予測式(USLE)の降雨係数を算出した。既往の資料や研究では地点数が少なく、かつ算出対象期間が短いため、北海道全域での適用が困難な状況にあった。本稿において北海道全域の分布状況を明らかにしたことにより、詳細な土壌流亡量の予測が可能になったと考えられる。

表-4 事業計画指針との比較

地点名	事業計画指針の値*(A)	本稿の値** (B)	(A)/(B)
稚内	94	95	1.00
網走	47	58	1.23
旭川	102	90	0.89
札幌	99	106	1.07
室蘭	158	155	0.98
函館	163	134	0.82
帯広	73	84	1.16
平均	—	—	1.02

\*事業計画指針のp.162・163に示されている各地点の降雨係数の年間値(データ期間1959-1973年)に、融雪流出係数として1959-1973年の前年12~当年3月の降水量の平均値に0.06を乗じた値を足した。

\*\*1976-2009年の $R_{60}$ の年平均値に、1976-2009年の前年12~当年3月の降水量の平均値に0.06を乗じた値を足した。

### 参考文献

- 1) 農林水産省：「土地改良事業計画指針 農地開発(改良山成畑工) 平成4年5月」、pp.158-178(1992)
- 2) Wischmeier, W. H. and D. D. Smith: Predicting Rainfall Erosion Losses, Agriculture Handbook 537(1978)
- 3) 長澤徹明：積雪寒冷地の小流域保全に関する農業土木的研究(平成3年度文部科学省研究費補助金(一般研究C)研究成果報告書)(1992)
- 4) 辻修、松田豊、土谷富士夫：北海道における降雨係数の推定、平成3年度農業土木学会大会講演要旨集、pp.562-563(1991)