

高架橋による日射量減少が水稻収量に及ぼす影響の基準化

誌名	農業氣象
ISSN	00218588
巻/号	431
掲載ページ	p. 41-44
発行年月	1987年6月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



高架橋による日射量減少が水稻収量 に及ぼす影響の基準化

清野 豁*・元田雄四郎**

(*九州農業試験場環境第一部)
(**九州大学農学部)

Reduction of Solar Radiation by Structure
and Its Effect to Yield of Rice

Hiroshi SEINO* and Yushiro MOTODA**

(* First Department of Environment, Kyushu National
Agricultural Experiment Station, Izumi 496,
Chikugo-shi, Fukuoka 833
** Faculty of Agriculture, Kyushu University,
Hakozaki 6-10-1, Fukuoka-shi, Fukuoka 812)

1. はじめに

近年の交通網(高速道路や新幹線)の発達は著しいが、交通の安全と高速性を確保するために、これらは高い土堤や高架橋上に建設されることが多くなった。これらの構造物は、その周辺に日陰を作り、そこに生育する作物の収量を低下させる。

山口ら(1982)は、新潟県内を南北に走る上越新幹線高架橋が、水稻生育に与える影響を調査している。それによると、収量に対する影響は高架橋から離れるにつれて小さくなり、高架橋の高さの4倍地点では影響はほとんど見られない。また、前田・笹村(1985)は、栃木県内を南北に走る東北新幹線高架橋が水稻生育に与える影響を調査し、山口ら(1982)と同様の結論を得ている。

農耕地に構築されるこのような構造物による作物生育への影響は全国的な問題であり、今後ますます増えるものと考えられる。したがって、構造物による日射量の減少を全国的規模で定量的に評価しておくことは重要であると考えられる。我々は、著者等が構築した「複雑地形地の太陽放射資源量の評価法」(清野・内嶋, 1985)を用いて、高架橋による日射量減少の基準化を試みた。

2. 方法と用いた資料

水平な農耕地に、鉛直な壁面を持つ高架橋が造られた場合の日射成分がFig. 1に示されている。耕地上(A)と高架橋壁面(B)における全天日射量($S_{t,A}$, $S_{t,B}$)は、それぞれ次のように表される。

$$A : S_{t,A} = S_{b,A} + S_{d,A} + S_{r,A} \quad (1)$$

$$B : S_{t,B} = S_{b,B} + S_{d,B} + S_{r,B} \quad (2)$$

ここで、 $S_{b,A}$ と $S_{d,A}$ は耕地上における全天日射量の直

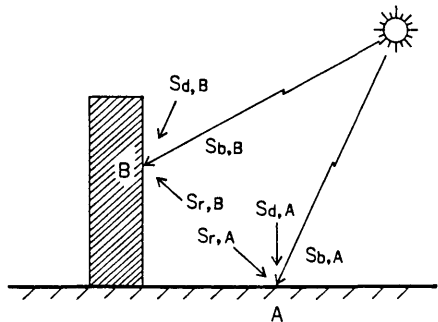


Fig. 1 Schematic view of solar radiation regime on farm (A) and structure (B). S_b , S_d and S_r indicate, respectively, direct, diffuse and reflected radiation components. Suffixes A and B shows the components on farm and structure, respectively.

達成分と散乱成分, $S_{r,A}$ は壁面が受けた全日射量のうち耕地上に反射する成分である。同様に, $S_{b,B}$ と $S_{d,B}$ はコンクリート壁面が受ける全日射量の直達成分と散乱成分, $S_{r,B}$ は耕地が受けた全日射量のうち壁面に反射する成分である。

いま, 天空散乱放射と反射放射の輝度が角度によって均一であると仮定し, 障害物が無い場合の水平面が受け日射量の直達・散乱成分を $S_{b,H}$, $S_{d,H}$ とすると, 上記の各成分は次のように表される(たとえば, 清野・内嶋, 1985)。

$$\begin{aligned} S_{b,A} &= S_{b,H} \quad (\text{ただし, 日陰にならない時間帯}) \\ S_{d,A} &= \cos^2(\alpha/2) S_{d,H} \\ S_{r,A} &= \sin^2(\alpha/2) \rho_B S_{t,B} \\ S_{b,B} &= (S_{b,H}/\sin h_o) \{ \cos h_o \cos(\phi_o - \phi_s) \} \\ S_{d,B} &= \cos^2(\beta/2) S_{d,H} \\ S_{r,B} &= \sin^2(\beta/2) \rho_A S_{t,A} \end{aligned}$$

ここで, α は耕地から高架橋の頂点をみた仰角の平均値(度)で, 北方位から45度おきに仰角を計算して平均した。 β は高架橋壁面の傾斜角(度)で, ここでは90度である。 ρ_A と ρ_B は, 耕地と高架橋壁面(コンクリート面)のアルベドで, これまで得られている値からそれぞれ0.15, 0.25とした(たとえば, 太陽エネルギー利用ハンドブック, 1985)。

太陽の位置の変化による直達・散乱成分の日変化曲線は, 複雑地形地の太陽放射資源量評価モデル(清野・内嶋, 1985)を用いた。すなわち, 水平面が受ける直達・散乱成分の日変化曲線を次の式で近似した。

$$S_{b,H}(t) = A_0 + A_1 \cos(t) + A_2 \cos^2(t) \quad (3)$$

$$S_{d,H}(t) = B_0 + B_1 \cos(t) + B_2 \cos^2(t) \quad (4)$$

ここで, $A_0, A_1, A_2, B_0, B_1, B_2$ は経験定数である。

高架橋の走行方位は南北と東西とし, 水稻の生育に与える影響を見るために, 農耕地が受ける直達成分と散乱・反射成分を月毎に計算し, 水稻生育期間(ここでは6~9月とした)について積算した。

高架橋による日射量の減少を基準化するために, 日射量の観測が行われている気象官署から適当な間隔で25地点(稚内, 旭川, 札幌, 帯広, 函館, 青森, 山形, 仙台, 新潟, 福井, 松本, 前橋, 名古屋, 静岡, 米子, 彦根, 広島, 下関, 福岡, 大分, 長崎, 鹿児島, 松山, 高知)を選んだ。これらの地点の全日射量の平年値(気象庁, 1982)を, 吉田・篠木(1983)の散乱成分推定式を用いて直達・散乱成分に分離し, (3)式と(4)式から日変化を求めた。

3. 結果と考察

3.1 高架橋が南北に走った場合

高架橋が南北方向に走った場合の結果をFig. 2に示した。使用したデータは新潟地方気象台の平年値である。図中, 日射の各成分と水稻収量は, 高架橋の高さの4倍の地点の値に対する相対値(%)で示されている。なお, 水稻収量は山口ら(1982)のデータから導いた次式を用いて推定した。

$$Y(x)/Y(4H) = -75 + 175 \{ S_t(x)/S_t(4H) \} \quad (5)$$

ここで, $Y(x)$ と $S_t(x)$ は, 高架橋壁面から高架橋の高さの x 倍($0 < x < 4$)の距離における水稻収量と全日射量, $Y(4H)$ と $S_t(4H)$ は4倍の距離における水稻収量と全日射量である。

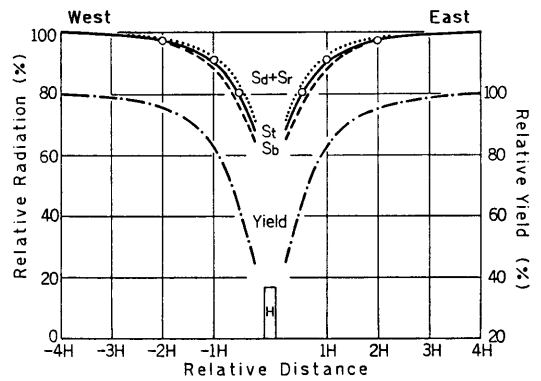


Fig. 2 Dependence of solar radiation components on the relative distance to the height of structure (H) in the case that structure is built in north-south orientation. All values are indicated as relative value to that at 4H. Open circles are the observed values by Yamaguchi et al. (1982). S_b , $S_d + S_r$ and S_r are direct, diffuse and reflected, and total solar radiation components, and Yield of rice is estimated by Eq. (5).

高架橋の東側と西側における日射量の減少の様子はよく似ており, どちらも3H(高架橋の高さの3倍地点)付近から減少しはじめ, 2H付近から急激に減少している。1Hの地点で全日射量 S_t の値を比較すると, 東側, 西側とも4H地点の90%, 0.2H地点では69%まで減少している。(5)式から推定した水稻の相対収量は1H地点で85%, 0.2H地点で46%となった。日射の成分別にみると, 東側および西側とも, 反射を含めた散乱成分に比べ直達成分の減少が大きいの。

山口ら(1982)による全日射量の実測値がFig. 2中

に丸印で示されている。実測値と本研究で求められた値とはよく一致している。実測された高架橋の下は吹き抜けになった構造であり、山口らが述べているように、吹き抜け部分を通して反対側に日射があたるのは太陽高度の低い時間に限られる。一方、本研究で考えている高架橋はコンクリート壁面を持つ構造であり、壁面からの反射成分が考慮されている。そのため、構造の違いによる差が現れていないものと考えられる。

以上の結果は、我々の評価手法が、高架橋による日射減少の問題の評価にきわめて有効であることを示している。

3.2 高架橋が東西方向に走っている場合

高架橋が東西方向に走っている場合の日射量の減少の様子を、同じく新潟地方気象台のデータを用いて推定した結果が Fig. 3 に示されている。

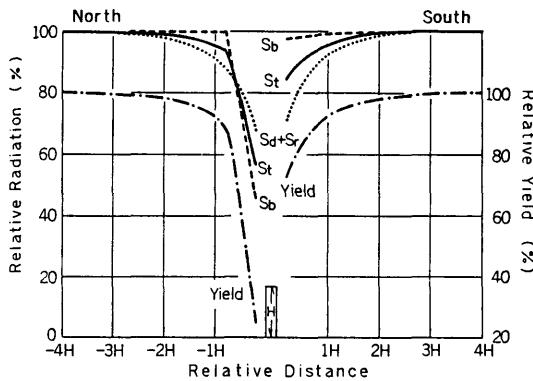


Fig. 3 Same as Fig. 2 but structure is built in west-east orientation.

高架橋の北側では 1H 付近から直達成分が急激に減少し、それともなって全天日射量が減少している。一方、南側では、直達放射の減少はほとんどみられず、反射を含めた散乱成分だけが減少している。また、散乱成分の減少程度は北側に比べて少ない。これは高架橋壁面からの反射放射が北側より多いことによる。

図中に示される水稻の相対収量の推定値は、上記のような日射量の変化によって、北側の減収が南側より大き

く現われている。

3.3 高架橋による日射量減少の基準化

以上の結果を全国に適用できるように基準化するため、北海道から九州までの 25 地点を選び、それぞれの地点について上記と同様の計算を行い、高架橋壁面からの距離による全天日射量 $S_t(x)$ の変化を次式を用いて近似した。

$$S_t(x)/S_t(4H) = a + b \cdot \ln(x) \quad (6)$$

ここで、 $S_t(x)$ と $S_t(4H)$ は、それぞれ、高架橋からの相対距離 x と 4 倍の地点における全天日射量である。係数 a , b は、各地点における 6~9 月の南中時の太陽高度の平均値 \bar{h}_0 と平均日射率 ($\bar{B} = \sum S_t / \sum S_0$) を用いて、次のような重回帰式を導いた。

$$\begin{aligned} a &= C_{10} + C_{11} \cdot \bar{h}_0 + C_{12} \cdot \bar{B} \\ b &= C_{20} + C_{21} \cdot \bar{h}_0 + C_{22} \cdot \bar{B} \end{aligned} \quad (7)$$

(7) 式の係数と相関係数を Table 1 に示した。同表には、(6) 式を用いて計算される相対全天日射量と、モデルから得られた相対全天日射量との相関係数、ならびにその標準誤差もあわせて示した。また参考のために、計算に使用した 25 地点の、南中時の太陽高度と日照率の期間平均値(6~9 月の平均値)を Table 2 に示した。

Table 1 の係数と (6)~(7) 式を用いて計算される相対全天日射量と、上記モデルで推定される値との間の相関係数 (R) は、いずれも 0.99 以上で、標準誤差は北側が 1.3% とやや大きい、その他は 1% 以下である。

(7)~(9) 式を用いれば、高架橋による水稻生育期間(ここでは 6~9 月)の日射量減少を、全国規模で評価できる。さらに、(5) 式のような日射量と水稻収量の関係式が、他の品種あるいは作物について得られれば、高架橋による日射量の減少がさまざまな作物の生育に与える影響を評価することが可能となる。

3. 結 論

著者ら(清野・内嶋, 1985)が構築した複雑地形地の太陽放射資源量評価モデルを用いて、高架橋による農耕地の日射量の減少を定量的に評価した。新潟県における実測値(山口ら, 1982)との比較の結果、このモデルにより評価された値は実測値とよく一致した。

Table 1 Coefficients in Eq. (7) and correlation coefficient and standard error of Eq. (6).

Side	Coefficients in Eq. (7)						Correlation coefficient and standard error of Eq. (6)	
	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{20}	C_{21}	C_{22}	R	$S_e(\%)$
West	0.799	0.130	-0.051	0.019	0.143	-0.028	0.996	0.8
East	0.773	0.157	-0.049	0.009	0.149	-0.019	0.996	0.8
North	-0.056	1.048	0.126	0.584	-0.387	0.023	0.993	1.3
South	0.963	-0.048	0.087	0.031	0.119	-0.167	0.996	0.4

Table 2 Average solar altitude (\bar{h}_o) and normal percentage of solar radiation for rice plant growing period (from June to September).

Station	\bar{h}_o (rad)	$\sum S_t / \sum S_0$
WAKKANAI	0.863	0.429
ASAHIKAWA	0.880	0.421
ABASHIRI	0.872	0.439
SAPPORO	0.880	0.430
OBIHIRO	0.888	0.404
HAKODATE	0.895	0.398
AOMORI	0.902	0.448
YAMAGATA	0.916	0.405
SENDAI	0.916	0.362
NIIGATA	0.923	0.419
FUKUI	0.929	0.422
MATSUMOTO	0.929	0.428
MAEBASHI	0.929	0.334
NAGOYA	0.935	0.401
SHIZUOKA	0.940	0.407
YONAGO	0.935	0.422
HIKONE	0.935	0.409
HIROSHIMA	0.940	0.428
SHIONOMISAKI	0.946	0.427
FUKUOKA	0.946	0.371
OITA	0.946	0.414
NAGASAKI	0.951	0.430
KAGOSHIMA	0.955	0.427
MATSUYAMA	0.946	0.439
KOCHI	0.946	0.425

高架橋による日射量減少を全国規模で標準化するために、全国 25 地点について高架橋による日射量の減少を計算し、これと相対距離の関係を対数関数で近似した。次に、近似式の係数を、南中時の太陽高度と日射率の水稲生育期間平均値とを用いて推定する重回帰式を導いた。

この推定式を用いることにより、全国どこの場所でも、高架橋による水稲生育期間(6~9月)の日射量の減少を評価することができる。この結果は、これからの環境アセスメントに大きく貢献するものと考えられる。

引用文献

気象庁, 1982: 日本気候表, その2 地点別月別平年値 (1951~1980). pp.302.

前田忠信・笹村静夫, 1985: 東北新幹線高架橋による日照制限が水稲の生育に及ぼす影響. 宇都宮大学農学部報, **12**, 11-23.

清野 勲, 内嶋善兵衛, 1985: 複雑地形地(阿蘇カルデラ)における太陽放射資源量の評価. 農業気象, **40**, 139-144.

太陽エネルギー利用ハンドブック編集委員会(編), 1985: 太陽エネルギー利用ハンドブック. 日本太陽エネルギー学会, pp.1135.

山口政栄・国岡正幸・今井良衛・細川平太郎, 坂井友慶, 1982: 上越新幹線高架橋による日照阻害が水稲の生育収量に及ぼす影響. 日本農業気象学会北陸支部報, **7**, 19-24.

吉田作松・篠木誓一, 1983: 日本における月平均水平面散乱日射量・同直達日射量の平年値および年々の変動係数のマップの作成. 天気, **30**, 201-216.