



Title	牧草地の凹凸に関する研究
Author(s)	寺尾, 日出男; Terao, Hideo; 近江谷, 和彦 他
Citation	北海道大学農学部牧場研究報告, 13, 33-44
Issue Date	1988-01-25
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/48921">https://hdl.handle.net/2115/48921</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	13_33-44.pdf



## 牧草地の凹凸に関する研究

寺尾日出男・近江谷和彦・野口 伸・佐藤 彰信

(北海道大学農学部農業原動機学教室)

### 要 旨

寺尾日出男・近江谷和彦・野口 伸・佐藤彰信 (1987) 牧草地の凹凸に関する研究, 北海道大学農学部附属牧場研究報告13:33-44

ほ場面の凹凸は農作業の支障となるが, 特に牧草地では, 造成及び更新時以外には耕うん整地を行わないので, 作業能率・作業精度の低下を招き, 作業機械の故障の原因ともなる。本研究では, 北海道大学附属牧場及び付属農場内の牧草地・普通畑を供試し, ほ場管理の方法の異なる牧草地と普通畑の凹凸を測定・解析することにより, 牧草地の凹凸の特性について検討した。また, トラクタ車体及び座席上の上下方向振動加速度を測定し, 農作業の難易とほ場面凹凸の関係について検討した。その結果, 1) 牧草地の凹凸は不規則で, 付属牧場内の牧草地と付属農場内の牧草地の凹凸は測定箇所によって凹凸の程度は異なるものの同じ特性である, 2) ライ麦畑・小麦畑の凹凸は不規則で牧草地と同様な特性である, 3) ISO の路面分級案でFに分類されるほ場, 即ち, 区間長5mの標準偏差が20mm以上となるほ場は, ほ場面凹凸の修正が必要と判断される, 4) 草地更新の際の耕うん整地による凹凸修正の効果が認められること, などが明らかとなった。

キーワード: ほ場面凹凸, 凹凸, 路面凹凸, トラクタの振動, 乗心地

### I 緒 言

ほ場面の凹凸と農作業との関係についてみると, 水田においては主として水管理及び機械による田植作業上の問題<sup>7)</sup>となり, 普通畑では停滞水による走行障害及びトラクタ・作業機のピッチング・ローリングの原因となる。牧草地の凹凸は普通畑の場合と同様に停滞水やトラクタ・作業機の姿勢の問題<sup>13)</sup>だけではなく, 牧草地では高速で作業する機会が多いので, 凹凸のためにトラクタ車体の振動が大きく, そのため作業速度は制限され, 作業能率が低減し, オペレータの健康にも悪影響<sup>15)</sup>を及ぼしたり, テグダ・レーキ等の作業機械の故障の原因<sup>3)</sup>ともなり, ほ場面凹凸は営農上の障害<sup>2)</sup>となっている。

ほ場面の凹凸に関する研究報告によると, 牧草地を含むほ場面の凹凸<sup>10, 16)</sup>は, 道路<sup>8)</sup>及び土木工事現場<sup>1)</sup>の路面凹凸と同様に一般に不規則であると報告されている。牧草地における凹凸の生成とは場管理の関係について考えると, 牧草地では, 造成時及び更新時を除くと耕うん整地作業を行わず, 従って, 造成時及び更新時に生じた凹凸が修正されずにそのまま残ったり, あるいは作業時に車輪のスリップや沈下によって生じた凹凸が修正されないままとなり, 更新してから年数が経過すると凹凸は一層悪化すると考えられる。それに対し水田及び普通畑では毎年耕うん整

地が行われるので、その度に凹凸の修正が行われており、ほ場面凹凸の状態は牧草地に比べ良いと考えられる。

以上の点から牧草地の凹凸は農作業上障害となり、また牧草地は耕うん整地作業が毎年行われないという、他の水田・普通畑とは管理上異なった点がある。筆者等は、牧草地の凹凸が普通畑と比較した場合どのような特徴があるのかという点に着目し、牧草地の凹凸と普通畑の凹凸の比較検討を行った。また、トラクタ車体及び座席上の振動加速度を測定解析することにより、農作業の難易とは場面凹凸の関係について検討したのでここに報告する。

## II 供試ほ場及び測定方法

供試ほ場として Table 1 及び Fig. 1 に示す牧草地（採草地）5ヶ所及び普通畑としてライ麦畑・小麦畑の2ヶ所を採用した。牧草地 a, b, e がここ10年以内に草地更新を行っているのに対し、牧草地 c, d は草地更新後20年以上経過している。測定時期は牧草地 a, b, c が10月初旬、牧草地 d, e は8月で2番草収穫後、及び普通畑は8月でコンバインによる収穫作業終了後であった。従って、牧草地 d, e 及び普通畑 f, g のほ場表面には刈り株が残っている程度であった。牧草地 a, b, c では牧草が10~15cm程度伸びていたが測定には支障なかった。なお、牧草地 a, b, c は北海道大学農学部附属牧場内（静内）に位置し、牧草地 d, e 及び普通畑 f, g は北海道大学農学部附属農場内（札幌）に位置している。

ほ場面凹凸の測定はレベルと標尺を用い、50cm間隔で水準測量を行った。測定間隔は測定可能な凹凸の路面周波数と関係し、サンプリング定理<sup>9)</sup>によれば測定間隔の2倍の波長、即ち、測定間隔が5cmでは波長10cm、50cmでは波長100cmまでの凹凸の測定が可能である。前述したように、ほ場面の凹凸は一般に不規則で、パワースペクトル密度（以下 PSD）を求め両対数のグラフで表わすと右下がりとなる<sup>10)</sup>。本研究ではほ場面凹凸の程度を比較検討することに主眼を置いたので、波長1mの凹凸まで測定可能であれば良いと判断し測定間隔を50cmとした。

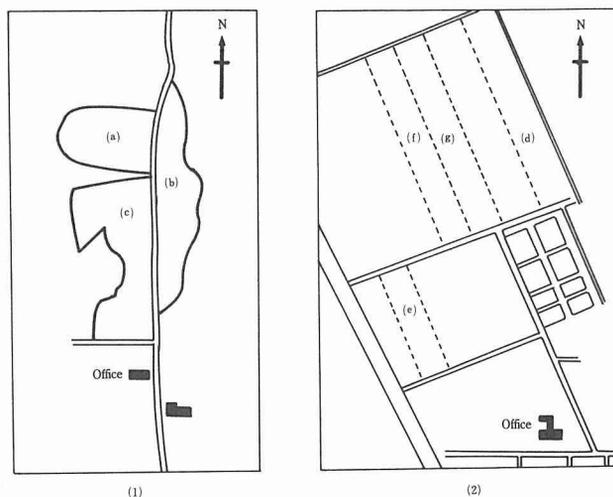
ほ場面の凹凸と農作業の難易の関係について検討するため、供試ほ場走行時のトラクタ車体の

Table 1. Outline of Meadow and Field

Name	Length	Number of measured tracks	Location
Meadow a	50m	2	Livestock Farm
Meadow b	50m	2	Livestock Farm
Meadow c	50m	2	Livestock Farm
Meadow d	50m	2	University Farm
Meadow e	50m	3	University Farm
Field f	50m	5	University Farm
Field g	50m	5	University Farm

## 牧草地の凹凸評価

上下方向振動加速度を測定解析した。供試トラクタの搭載機関出力は29kW (39.5 PS) で、質量1,580kg、軸距1,384mm、輪距1,340mmであった ( Fig. 2 )。トラクタ車体の振動加速度はひずみゲージ式加速度変換器 ( 定格加速度 5 G , 測定範囲 0 ~80 Hz ) をトラクタ重心位置付近に取り付けて測定し、座席上の振動加速度は ISO 5008<sup>5)</sup> に基づいて作成した加速度変換器<sup>12)</sup> により測定し、データレコーダに記録した後パーソナルコンピュータによりデータの変換及び解析を行った。



**Fig. 1** Location of sites investigated  
(1) Livestock Farm, Hokkaido University, Shizunai.  
(2) University Farm, Hokkaido University, Sapporo.



**Fig. 2** Tractor used to measure vertical acceleration of tractor body and tractor seat.

### Ⅲ 結果及び考察

#### 1. 牧草地の凹凸

牧草地凹凸測定結果の例として、Fig. 3に牧草地 a, Fig. 4に牧草地 dの測定結果を、また、普通畑凹凸測定結果の例として Fig. 5に小麦畑 gの測定結果を示した。目視観察によれば、牧草地 aは凹凸の比較的少ない牧草地、牧草地 dは比較的凹凸のある牧草地と観察された。牧草地 aは付属牧場内にあり波状地の様に若干高低差はあるが、波長の短い凹凸の振幅は小さく、良い状態の牧草地と観察された。牧草地 dは付属農場内なので牧草地全体としてみるとほぼ平坦であるが、波長の短い凹凸がみられ、更新後年数が経過しているためか比較的凹凸の多い牧草地と観察された。このように、牧草地の凹凸は測定箇所によってその程度が異なり、凹凸の状態の良い牧草地、悪い牧草地がみられた。一般に更新後年数の経過していない牧草地の凹凸の状態は良く、更新後20年も経過しているような牧草地の凹凸は悪いと観察された。

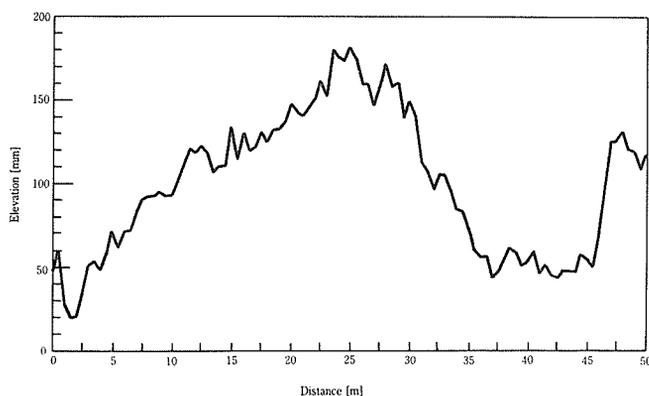


Fig. 3 Typical profile of meadow at Livestock Farm (meadow a).

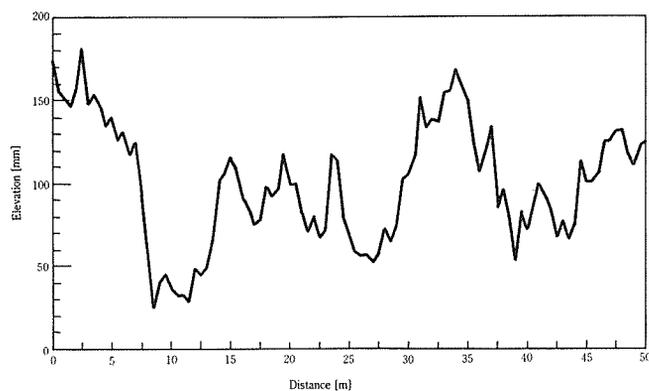


Fig. 4 Typical profile of meadow at University Farm (meadow d).

牧草地の凹凸評価

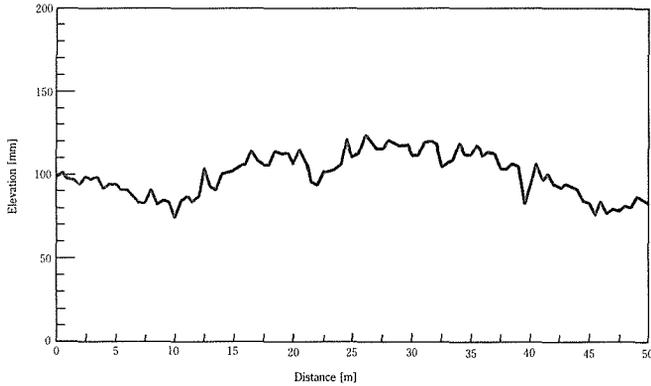


Fig. 5 Typical profile of wheat field at University Farm (field g).

牧草地に比べ普通畑では Fig. 5 に示したように平坦で、しかも凹凸が少なく、牧草地の凹凸の状態とは明らかに異なっていた。これは、毎年耕起・砕土・整地作業を行っているためと考えられる。しかし、東西方向（供試ほ場の短辺方向）の凹凸は南北方向の凹凸に比べ、その振幅が大きかったが、これはプラウ耕によって生じた凹凸が砕土・整地作業によって十分修正されていなかったものと考えられる。

以上のように牧草地と普通畑とでは凹凸の程度は異なっていたが、いずれの場合も正弦波状の周期的な凹凸は認められず、不規則な凹凸であると判断された。ほ場面凹凸のように不規則な波の大きさと周波数成分、即ち、周波数に対する凹凸の振幅の程度を知るためには PSD を求めると理解しやすく、また、ISO / TC 108 で検討中の路面分級案 ( Table 2 )<sup>6)</sup>でも PSD の大小により道路面の凹凸を分類しているので、各ほ場面凹凸の PSD を求め、PSD の代表例を Fig. 6 に示した。なお、図中の破線及びアルファベットは ISO で検討中の分級案による分類を示している。この分級案では PSD を(1)式に示すように指数関数で表わし、路面周波数 $1/2\pi [c/m]$ における PSD の値によって A ~ H までに分類している。

Table 2 . Classification of road roughness<sup>6)</sup>  
 $[\times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{c}/\text{m}]$

Class	Range of roughness
A	< 8
B	8 - 32
C	32 - 128
D	128 - 512
E	512 - 2048
F	2048 - 8192
G	8192 - 32768
H	32768 <

$$P(f) = P(f_0)(f/f_0)^{-2} \quad (1)$$

ここに  $P(f)$  : パワースペクトル密度 [ $\text{m}^2/\text{c}/\text{m}$ ]

$f$  : 路面周波数 [ $\text{c}/\text{m}$ ]

$f_0$  : 定数  $1/2\pi$  [ $\text{c}/\text{m}$ ]  $\cong 0.16$  [ $\text{c}/\text{m}$ ]

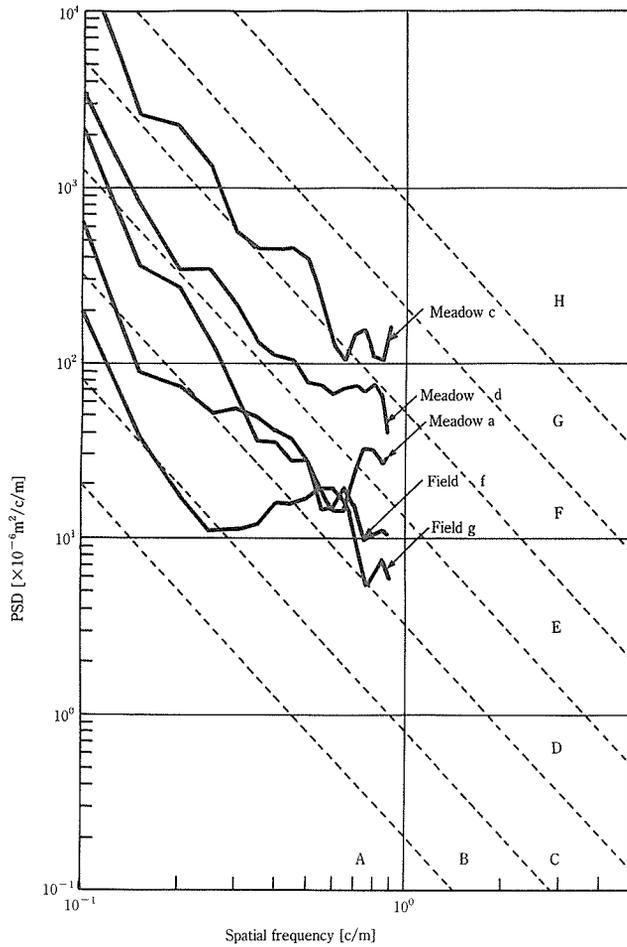


Fig. 6 Comparison of PSDs for meadow and field surface.

この分級案に従って Fig. 6 をみると、Fig. 4 に示した凹凸の状態の悪い牧草地 d が F、平坦で凹凸の小さいと観察された小麦畑 g が C ~ D の範囲、牧草地としては比較的凹凸が少ないと観察された Fig. 3 に示した牧草地 a が D ~ E の範囲に分類された。非常に平坦で滑らかなコンクリート路面が A、アスファルト路面が B<sup>14)</sup>、非舗装道路が D<sup>17)</sup> の範囲であることから考え

ると、毎年耕うん整地を行っている普通畑の凹凸は、非舗装道路と同程度、あるいは非舗装道路に比べ凹凸の状態が良いと判断される。凹凸に周期的な成分が含まれている場合は、PSD にピークが表われるが<sup>11)</sup>、Fig. 6 にはピークがみられず、牧草地、普通畑の凹凸は共に不規則であることが認められた。また、いずれの凹凸の PSD も右下りとなり、Fig. 2～4 では凹凸の状態が一見異なっているように見えるが、波長が 1～10m の凹凸についてみれば牧草地の凹凸と普通畑の凹凸とは同様な周波数成分であると考えられる。牧草地 a の場合、前述したように波状地のように見えるが、他のほ場に比べて、特に波長の長い凹凸の振幅が大きいとはいえない。また、ライ麦畑 f、小麦畑 g の凹凸は Fig. 5 に示したように平坦であるが、凹凸の周波数に対する凹凸の振幅の割合、即ち、周波数成分が他のほ場と異なっているわけではなかった。

以上の結果から、牧草地の凹凸は不規則で、付属牧場内の牧草地（静内）と付属農場内の牧草地（札幌）は同様な特性であり、ほ場によって凹凸の程度に差はあるものの、牧草地の凹凸は小麦畑等の普通畑の凹凸と異なる特性ではないことが認められた。また、ISO で検討中の路面凹凸分級案の区分は、目視観察による結果とも一致した。

## 2. 農作業の難易より評価した牧草地の凹凸

トラクタの振動加速度が小さいほ場ほど高速で作業が可能、即ち作業能率は高くなると考え、トラクタ車体加速度値の大小と乗心地という点から農作業の難易を評価し、ほ場面の凹凸とトラクタ車体及び座席上での加速度の関係について検討した。ほ場面の凹凸とトラクタ車体の上下方向加速度の関係は Fig. 7 に示したように、走行速度が増加するにつれて加速度も増加する。供試ほ場の凹凸を ISO の路面分級案に当てはめると、牧草地 b が E、小麦畑が C～D に分類さ

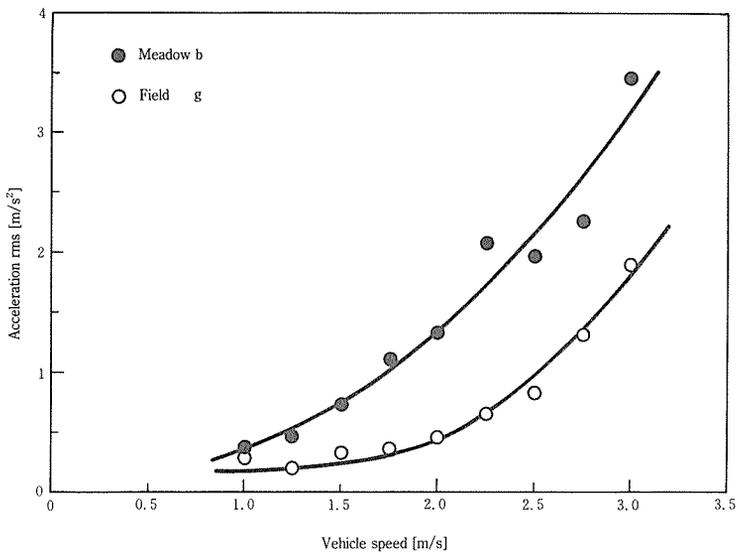


Fig. 7 Vertical acceleration level was increased according to vehicle speed.

れるが、Fig. 7 に示されているように、ほ場面凹凸の大きいほ場を走行した場合の方が当然ながら加速度も大きい。この例では、小麦畑を 3 m/s で走行した場合と同じ加速度で走行するためには、牧草地 b では走行速度を 2.5 m/s 以下にする必要がある。

1. で述べたように、供試ほ場である牧草地の凹凸とライ麦畑・小麦畑の凹凸とを比較すると、凹凸の良否に差はあるものの、PSD より判断した凹凸の周波数成分については同様な傾向であった。この点について加速度の周波数成分から検討するため、牧草地を走行したときの加速度の周波数成分と、小麦畑を走行した場合とを比較するため Fig. 8 に牧草地 e 及び小麦畑 g を走行したときの走行速度 3 m/s におけるトラクタ車体加速度の PSD を示した。PSD の値は多少異なるものの、ピークの振動数はほとんど同じであった。また、他の供試ほ場を走行した場合、及び他の走行速度の場合もピークの値に大小の差はあるもの、ピークの振動数はほとんど同じ値であった。これは、供試ほ場の凹凸が不規則で、正弦波状の凹凸が含まれていないことを意味しており、ピークの振動数はトラクタの上下方向の固有振動数とほぼ一致する<sup>18)</sup>。従って、ほ場面の凹凸とトラクタの振動との関係について検討するには、トラクタ車体加速度値の大小に注目すれば良いと判断される。

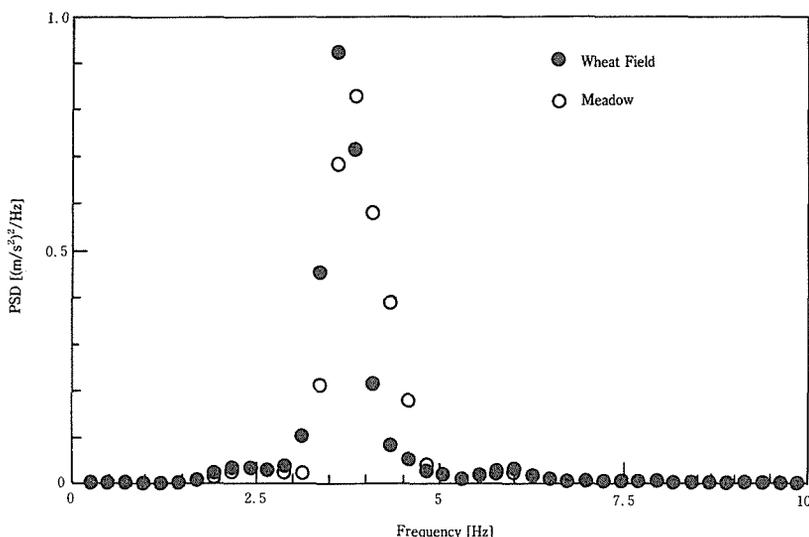


Fig. 8 Comparison of PSD of tractor body vibration for various fields.

Fig. 8 に示されているように、振動数 2 Hz 以下の加速度の PSD は非常に小さかった。走行速度 3 m/s の場合、振動数 2 Hz をほ場面凹凸の波長に換算すると 6 m となり、波長の長い凹凸はトラクタの車体加速度値の大小にほとんど影響していないと考えられる。ほ場面の大小を標

標準偏差で表わそうとした場合、標準偏差の計算にはすべての波長の凹凸が含まれてしまい、Fig. 3 に示したほ場面ではトラクタの振動には関与しないような長い波長の凹凸の影響で標準偏差の値が大きくなる。そこで、トラクタの振動特性を考慮して、凹凸の測定区間を 5 m 毎に分け、5 m 区間毎に標準偏差を求め、さらに区間毎の標準偏差の平均値を求め、供試ほ場面凹凸の標準偏差とし、区間標準偏差と呼ぶこととした。各ほ場における区間標準偏差を求め、走行速度 3 m/s におけるトラクタ車体加速度実効値との関係を Fig. 9 に示した。多少のばらつきはあるものの、区間標準偏差が大きいくほど加速度実効値の大きいことが認められた。ほ場面の硬さを考慮しなければならないが、トラクタ車体加速度値の大小により農作業の難易を評価するならば、区間標準偏差はほ場面凹凸の良否を評価するための指標になると考えられる。

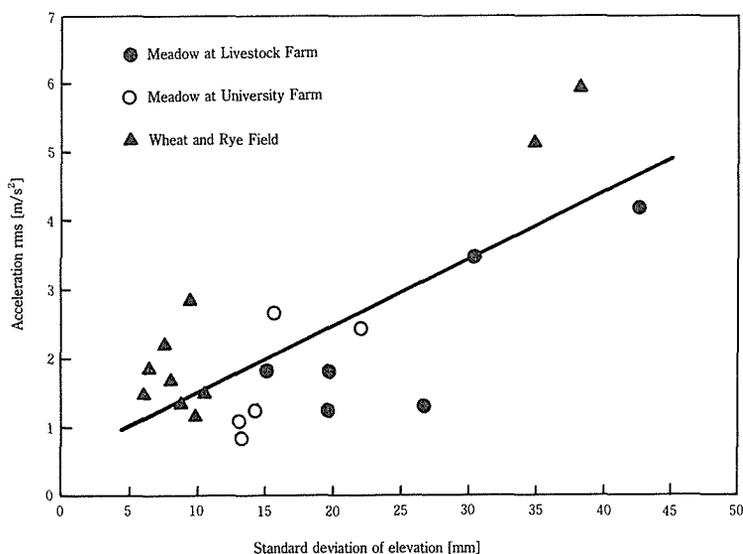


Fig. 9 Correlation between roughness of field and acceleration level of tractor body in vertical motion.

ほ場面の凹凸と乗心地の関係について検討するため、各ほ場について 3 m/s 走行時の座席上での上下方向振動加速度の1/3オクターブ分析を行い、全身振動の許容基準を示している ISO 2631<sup>4)</sup>を適用し、その結果を Table 3 に示した。また、供試ほ場の凹凸の ISO 路面分級案による分類、及び区間標準偏差を Table 3 に示した。Table 3 に示されている時間は、この時間以上連続して作業した場合、振動のために能率が低下するという時間である。従って、この時間が長いほど連続作業が可能であり、乗心地から判断して、ほ場面凹凸の状態が良いといえる。ISO 路面分級案で F の範囲にあるほ場では能率低下作業限界が1時間以内となり、このようなほ場で実際にトラクタを運転してみると、振動が大きく、3 m/s の速度で連続作業を行うこと

は乗心地の点から耐えられないと感じられた。

以上の結果からは場面凹凸とトラクタ作業の関係について考えると、少なくとも ISO の路面分級案で F に分類されたほ場、即ち区間長 5 m の区間標準偏差が 20mm 以上になるほ場は、農作業の難易を加速度値の大小で評価した場合、ほ場面凹凸の修正が必要と判断される。また、Table 3 で F の範囲にあるほ場は、いずれも草地更新後 20 年以上経過しており、最近更新した牧草地では E の範囲であることより、草地更新による耕うん整地の効果が確かめられた。

Table 3. Roughness of field and ride comfort

Site	Fatigue-decreased proficiency boundaries for vertical acceleration	Classification of roughness	Standard deviation calculated per 5 m section
Meadow a	2.5 hr	D~E	15 mm
Meadow b	4 hr	E	27 mm
Meadow c	1 hr	F	43 mm
Meadow d	25 min.	F	19 mm
Meadow e	4 hr	D	13 mm
Field f	4 hr	D	8 mm
Field g	8 hr	C~D	9 mm

なお、本研究において現地調査を実行するにあたり、北海道大学農学部付属牧場長大杉次男教授、同学部清水 弘教授、同学部付属牧場横葉正信技官を始め、関係各機関の方々より御協力いただいた。ここに記して謝意を表するものである。

#### 引用文献

- 1) FUJIMOTO, S.: Spectram analysis of road roughness for earthmoving machinery, J. of Terramechanics, 20 (1), 43-60, 1983
- 2) 北海道：草地整備改良事業における起伏修正採択基準試験成績報告書, 1978
- 3) 北海道大学農学部農業機械学教室：農業機械の保守管理実態について, 1981
- 4) ISO: ISO 2631 Guide for evaluation of human exposure to whole-body vibration, 1974
- 5) ISO: ISO 5008 Agricultural wheeled tractors and field machinery-Measurement of whole-body vibration of operator, 1979
- 6) ISO: Reporting vertical road surface irregularities (TC 108/ SC 2/ WG 4), 1982
- 7) 川村 登 他：農業機械学, 文栄堂, 114-118, 1980
- 8) La Borre, R. P. et al: The measurement and analysis of road surface roughness, MIRA Report, No. 1970/5, 1970
- 9) 森下 巖 他：信号処理, (株)計測自動制御学会, 23-26, 1982
- 10) 近江谷和彦 他：ほ場面プロフィールに関する研究 (第 2 報), 農機誌, 44(2), 293-297, 1987
- 11) 近江谷和彦 他：ほ場面のプロフィールに関する一考察, 農業機械学会北海道支部会報, 23, 51-55, 1982
- 12) 近江谷和彦 他：サンペンションシートによる農用トラクタの座席振動低減効果 (第 1 報), 農業機械学会北海道支部会報, 24, 29-34, 1983
- 13) 近江谷和彦：農用トラクタの回転振動に関する研究 (第 1 報), 農機誌, 47(3), 321-327, 1985

## 牧草地の凹凸評価

- 14) OHMIYA, K. : Characteristics of farm field profiles as sources of tractor vibration, J. of Terramechanics, 23(1), 23-36, 1986
- 15) ROSEGGER, R. et al : Health effects of tractor driving, J. of agric. Engng. Res., 5(3), 241-274, 1960
- 16) 鳥巢 諒 他 : トラクタの振動源としてのほ場面おうとつ特性, 九大農芸誌, 34 ( 1, 2 ), 7-17, 1979
- 17) 山川新二 他 : 路面凹凸の表示法について, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 731, 261-266, 1973
- 18) 山川新二 他 : 実データの処理技術, 日本機械学会関西支部, 第60回講習会教材, 49-60, 1974

## Characteristics of Profiles of Meadows

**Hideo TERAO, Kazuhiko OHMIYA, Noboru NOGUCHI and Akinobu SATOH**

*Laboratory of Agricultural Prime Mover, Faculty of Agriculture, Hokkaido University*

Undulations of fields and meadows are obstacles for farm work. Fields are usually tilled and harrowed every year, but meadows are not yearly tilled and harrowed. Meadows are only tilled on the establishment or the renovation. Therefore, the work efficiency and the work accuracy in meadows may be decreased by undulations. In this work, profiles of meadows and fields in Livestock Farm (Shizunai) and University Farm (Sapporo), Hokkaido University, were measured and analysed to investigate the characteristics of profiles of meadows. Vertical accelerations of tractor body and seat were also measured and analysed to evaluate the roughness of meadows and fields. Results were,

- 1) Roughness of meadows in Livestock Farm and University Farm was not always in the same grade, but at the same time no periodic undulations were found in any meadows. Therefore, it is recognized that the profiles of the meadows are random and non-periodic.
- 2) Profiles of fields were also random and non-periodic, so it is recognized that the characteristics of meadows are similar to those of fields.
- 3) It is suggested that the meadow, which is classified in the F grade of the classification of road roughness by ISO/TC108/SC2 and its standard deviation of profile of 5m section is larger than 20mm, should be renovated.
- 4) The renovation of meadow is effective to decrease the roughness of terrain.

*Key words*: Roughness of terrain, Undulation, Roughness of road, Vibration of tractor, Ride comfort