

略 号

畜草研研報

Bull NARO Inst Livest
Grassl Sci

ISSN:1347-0825
CODEN:CSKKCS

Bulletin of NARO Institute of Livestock and Grassland Science



第16号〈No.16〉平成28年3月 -March2016-

**NARO Institute
of Livestock and
Grassland Science
(NILGS)**

Ibaraki, Japan

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構

畜産草地研究所

畜産草地研究所編集委員会
Editorial Board

所長
Director-General

土肥宏志
Hiroshi DOHI

草地研究監
Director, Grassland Research

大同久明
Hisaaki DAIDO

編集委員長
Editor-in-Chief

阿部啓之
Hiroyuki ABE

副編集委員長
Deputy Editor

下田勝久
Katsuhisa SHIMODA

編集委員
Associate Editor

秋山典昭
Fumiaki AKIYAMA

間野吉郎
Yoshiro MANO

菅野勉
Tutomu KANNO

手島茂樹
Shigeki TEJIMA

住田憲俊
Noritoshi SUMIDA

小林栄治
Eiji KOBAYASHI

森岡理紀
Riki MORIOKA

野村将
Masaru NOMURA

畜産草地研究所研究報告

第16号 (平成28年3月)

目次

原著論文

日本の公的機関でのトウモロコシ (*Zea mays* L.) 育種のためのゲノムワイドセレクションの予備研究として行われたRAD-Seq法により発見された親自殖系統群内のゲノム全体にわたる分子多型 (英文)

..... 玉置宏之・三ツ橋昇平・工藤洋・永野惇・八杉公基..... 1

ビタミンA 給与制限下の黒毛和種去勢牛における血漿中グレリン濃度の推移 (英文)

..... 林征幸・木戸恭子・甫立京子.....11

学位論文

自給粗飼料の生産履歴・計量法と放牧牛体型測定法の開発

..... 喜田環樹.....21

BULLETIN OF
NARO INSTITUTE OF
LIVESTOCK AND GRASSLAND SCIENCE

No.16 (March2016)

CONTENTS

Research Papers

- Hiroyuki TAMAKI, Shohei MITSUHASHI, Hiroshi KUDOH, Atsushi J. NAGANO and Masaki YASUGI :
Genomewide Molecular Polymorphisms among Maize (*Zea mays* L.) Inbred Lines Found from
Restriction-Associated DNA Tag Sequencing (RAD-Seq) Analysis as a Preliminary Study on
'Genomewide Selection' for Breeding by Japanese Public Sectors 1
- Masayuki HAYASHI, Kyoko KIDO and Kyoko HODATE :
Changes in Plasma Ghrelin Concentrations in Vitamin A-restricted Japanese Black Steers11

Doctoral Dissertation

- Tamaki KIDA :
Development of an Information Management System for the Distribution of Round Bales and a
Technique for the Growth of Grazing Cattle by Using a 3D Digital Camera 21

Genomewide Molecular Polymorphisms among Maize (*Zea mays* L.) Inbred Lines Found from Restriction-Associated DNA Tag Sequencing (RAD-Seq) Analysis as a Preliminary Study on ‘Genomewide Selection’ for Breeding by Japanese Public Sectors

Hiroyuki TAMAKI, Shohei MITSUHASHI, Hiroshi KUDOH¹, Atsushi J. NAGANO^{1,2,a} and Masaki YASUGI^{1,b}

Forage Crop Research Division,
NARO Institute of Livestock and Grassland Science, Nasushiobara, 329-2793 Japan

¹ Kyoto University, Otsu, 520-2113 Japan

² Japan Science and Technology Agency (JST) PRESTO, Kawaguchi, 332-0012 Japan

Abstract

For accelerating yield improvement in the maize breeding programs operated by the Japanese public sectors, the authors have been interested in introducing genomewide selection (GWS), which requires the arrangement of at least 90 molecular markers in a pair of inbred lines (inbreds) having an identical genetic background. The purpose of this study was to evaluate the potential of ‘restriction-associated DNA sequencing’ analysis (RAD-Seq) as a genotyping tool in the maize GWS. RAD-Seq is a molecular technique with restriction enzymes and a high-speed sequencing system, whose advantages have been reported on the high reproductivity as well as on the low genotyping cost. Molecular polymorphisms among 34 inbreds from three genetic background groups were surveyed with RAD-Seq, from which 14384 polymorphic loci were found distributed genomewide. The dendrogram drawn based on the polymorphisms well accords not only with those drawn in the previous studies but also with the pedigrees. The results have also shown that 373 to 1106 polymorphic loci exist in each of most pairs of inbreds in an identical genetic background. Therefore the authors have concluded that RAD-Seq can be a powerful genotyping tool in the future maize GWS.

Key words: genomewide selection, inbred line, maize breeding, molecular polymorphism, RAD-Seq

Introduction

There are concerns in Japan over the difficulties in ensuring long-term food supply, for which the Japanese government has adopted a policy to increase food self-sufficiency. A primary plan for this goal is to raise domestic feed crop production from 4.00×10^6 metric tons on the

total digestible nutrition (TDN) basis (in 2012) to 5.27×10^6 in 2020⁸). The maize (*Zea mays* L.) breeding teams of Japanese public sectors, including NARO Institute of Livestock and Grassland Science, are now expected to support this policy by releasing high-yield varieties for whole-crop silage use highly adapted to Japanese climates.

As the cost of molecular genotyping has rapidly

Received 2015.8.31, accepted 2015.11.19

^a Present address: Ryukoku University, Otsu, 520-2194 Japan

^b Present address: National Institute for Basic Biology, Okazaki, 444-8787 Japan

declined in recent years (Yan *et al.*¹⁴), it has become feasible especially for the maize breeding teams in Japanese public sectors to adopt molecular breeding techniques where markers should be arranged over the whole genome¹². 'Genomewide selection (GwS)' is one of such techniques; its details and concept are explained in Bernardo and Yu³ and Meuwissen *et al.*⁹. The focus of GwS is on accumulating favorable genes in many minor quantitative trait loci (QTLs) whereby the yield is deemed controlled¹⁵. In addition, GwS can be started from a biparental population, i.e. with molecular-marker information on a small number of inbred lines (hereinafter referred to as inbreds). Therefore, introducing GwS to Japanese maize breeding programs is quite valuable to accelerate yield improvement.

The purpose of this study was to evaluate the potential of 'restriction- associated DNA sequencing' analysis (hereafter referred to as RAD-Seq) as the genotyping tool of the maize GwS. The details of RAD-Seq are described in Baird *et al.*¹. Briefly, it is a molecular technique with restriction enzymes and such a sequencing system as HiSeq™ of Illumina™, providing sequence information near the restriction sites of multiple samples with high reproductivity¹⁰. As numerous restriction sites are thought distributed over the whole maize genome, RAD-Seq is expected to detect a remarkable number of genomewide molecular polymorphisms among hundreds of the tested samples at once. Our previous computer-simulation study¹² has revealed that molecular markers should be placed at the intervals of 20cM or shorter for the success of GwS. Based on the reports in the website (http://www.maizegdb.org/complete_map?id=1203637) that the entire linkage-map length is about 1808cM, it means that at least 90 (=1808/20) molecular markers should be arranged for this purpose. The numbers of polymorphic molecular loci should greatly exceed 90 in most cases because the locations of such loci are thought biased over the genome. Therefore the point at which the authors were most interested has been how many reliable molecular polymorphisms were detected from RAD-Seq between a potential pair of inbreds in an identical genetic group whose F₂ progeny would be genotyped. In addition, the advantages of RAD-Seq have also been discussed from its economic aspects; Nagano¹⁰ have reported that it costs only JPY350000 for a RAD-Seq operation for 200 samples, as small as JPY1750 per sample. Therefore the authors have

regarded it as a highly feasible genotyping tool candidate in the maize GwS to boost breeding programs. A number of reports have been made on the genotyping results with RAD-Seq on major crops including maize (e.g. Beissinger *et al.*², Davey *et al.*⁶). None of them, however, have provided convincing information on its potential as the genotyping tool for GwS, especially on the following three points, (1) how many polymorphic molecular loci would be detected between a pair of inbreds in an identical genetic group (not among miscellaneous materials), (2) how many of them can be judged potential as the molecular markers for the GwS (our preliminary analyses have revealed that a remarkable number of polymorphisms seem to have come from repeated sequences within an inbred and that they cannot be adopted as markers for GwS), and (3) whether the potential polymorphic loci are distributed genomewide or not. Therefore the authors especially focus the discussion on these three points.

Materials and Methods

Plant materials and DNA preparation

Table 1 shows the list of the genotyped parental inbreds. All but three, 'Mi108', 'Ki44' and 'Na106', were also genotyped in our previous study¹³ where single nucleotide polymorphisms (SNPs) were detected with "maizeSNP50 beadchip", a product of Illumina Inc. (San Diego, CA, U.S.) (http://www.illumina.com/products/maizesnp50_dna_analysis_kit.html). All of the inbreds were developed in the Japanese public sectors; National Agriculture and Food Research Organization (NARO) Hokkaido Agricultural Research Center (NARO/HARC), Nagano Animal Industry Experiment Station (NAIES), NARO Kyushu Okinawa Agricultural Research Center (NARO/KARC) and NARO Institute of Livestock and Grassland Science (NARO-ILGS) developed inbreds whose names start with "Ho", "Ki", "Mi" and "Na", respectively. The inbreds are classified into three groups in terms of their genetic backgrounds (they are hereafter called genetic groups); dent mainly derived from U.S. corn-belt dent (MD), semi-dent mainly developed from hybrids for summer seeding (RD) and flint mainly derived from Japanese landraces (JF). Their seeds were provided from the stocks in NARO-ILGS for breeding experiments. Only one individual per inbred was sampled for DNA preparation,

because our previous study on SNP polymorphisms¹³⁾ has revealed that more than 96% of the SNPs are identical

Table 1. The list of 34 inbreds genotyped in this study with RAD-Seq, and the numbers of the catalogs (loci) provided from the genotyping

Group	Inbreds	*	Numbers of catalogs (loci) ¹⁾		
			All	Trustable	Potential
MD ²⁾	Ho102	*	136173	25630	4466
	Ho104	*	113135	21938	3886
	Ho110	*	143188	28062	4724
	Ki66	*	143399	25894	4472
	Ki70	*	140445	28366	4838
	Ki74	*	108734	21455	3775
	Mi29	*	159289	27726	4808
	Mi88	*	114736	24366	4206
	Mi108		142579	29702	5052
	Na65	*	111016	21953	3771
	Na71	*	105777	20369	3425
	Na99	*	176689	30274	5156
Na102	*	146238	31603	5262	
RD ²⁾	Mi62	*	106205	23268	4108
	Mi71	*	138225	26417	4280
	Mi91	*	103435	20116	3412
	Mi93	*	138247	24798	4327
	Mi106	*	148407	25724	4158
JF ²⁾	Ho95	*	149352	26553	4535
	Ki44		234521	32703	5190
	Ki68	*	161854	28548	4778
	Ki75	*	151273	27149	4653
	Mi47	*	165855	29852	5047
	Mi103	*	169001	31770	5367
	Mi111	*	177260	35336	5592
	Na50	*	152414	26786	4365
	Na91	*	163036	26255	4136
	Na96	*	199997	30208	4953
	Na101	*	186192	26541	4622
	Na103	*	199997	37129	5707
	Na104	*	271242	37787	5866
	Na105	* ³⁾	169838	30514	5130
	Na106		131065	29676	4949
N09-07	*	133226	26261	4300	
"Average over the 34 inbreds"			152707	27669	4627
Total (duplicates excluded)			1280484	152658	14384

* The inbreds also genotyped in the previous SNP study by the authors¹³⁾.

1) All loci: provided in the genotyping process by Stacks. Trustable loci: depth are seven or more, no plural alleles and identified coordinates. Potential loci: polymorphic trustable loci. (See Materials and Methods for more details).

2) MD, RD and JF are the dent genetic group from U.S. corn-belt, the semi-dent genetic group from hybrids for summer seeding, and the flint genetic group from Japanese landraces, respectively (See Mateirlas and Methods for more details).

3) Genotyped as 'N10-03' in our previous SNP study¹³⁾.

between two individuals within an inbred.

The DNA preparation was made in the following two stages. The first, from cutting young leaves from the seedlings to obtaining the boiled stocks, was completely equivalent to our previous genotyping study¹³⁾. In short, after the leaf of each material was frozen and milled, 'PrepMan™ Ultra Reagent' of Life Technologies Corporation (Carlsbad, CA, U.S.) was added to the milled leaf, and then the mixture in a plastic tube was kept in boiling water for extraction. After cooled down, the tube was centrifuged to obtain the supernatant containing the purified genomic DNA. The second stage, the authors adopted for the first time for DNA purification, followed the protocol of 'DNeasy Plant Mini Kit™' of Qiagen (Valencia, CA, U.S.) where the 100 µl of the supernatant having been collected in the former stage was subjected as the wet starting material. After the preparation, The DNA concentration was measured with 'Qubit™ 2.0 Fluorometer (with dsDNA HS assay kit)' of Life Technologies, to adjust to 10 ng µl⁻¹ for the subsequent sequencing.

Sequencing and genotyping

In the procedures for sequencing with 'HiSeq 2000', a product of Illumina, the authors followed the protocol of Peterson *et al.*¹¹⁾ with the following several modifications. (1) Genomic DNA of 175 maize materials including the 34 inbreds shown in Table 1 was digested with two restriction endonucleases, *Nde*I and *Bgl*II. (2) Two kinds of Y-shaped adaptors (whose sequences are shown in Supplements as TruSeq_ *Nde*I_adaptors 1 and 2, and TruSeq_ *Bgl*II_adaptors 1 and 2, respectively) were ligated with T4 DNA ligase to the digested ends. Each adaptor was arranged to ligate only to the sticky end of each restriction enzyme. (3) Primers (whose sequences are shown in Supplements as TruSeq_Univ_primer 2 and TruSeq_IP001_XXXXXX) were added for the subsequent polymerase chain reaction (PCR). The 5'-end primers also carry index sequences for material identification. (4) PCR was performed with KOD-Plus-Neo (TOYOBO) (94 °C for 2min, 20 cycles of 98°C for 10 sec, 65°C for 30 sec, 68°C for 30 sec), whereby selectively amplified were only the fragments that have both digested ends of the two restriction enzymes. (5) Approximately 270 – 300 base pair (bp) fragments were selected with E-Gel™ size select (Life Technologies) after all of the amplified DNA from each

material was mixed into a stock. And (6) 50 bp sequences of the *Bgl*II-digested side in the DNA fragments were read by HiSeq2000 (Illumina).

To remove reads containing low-quality bases and adapter sequences, raw sequence reads were preprocessed with 'Trimmomatic' ver. 0.32 (Bolger *et al.*⁵⁾, where the followings were the adopted conditions; ILLUMINACLIP: TruSeq3- SE.fa:2:30:10, LEADING: 19, TRAILING: 19, LIDINGWINDOW: 30:20, AVGQUAL: 20, MINLEN: 51. Sequence reads were then processed with Stacks ver. 1.20 (<http://creskolab.uoregon.edu/stacks/>), with the reference to the entire genomic sequence information of 'B73', which is a maize inbred recognized worldwide as the most standard, shown in the website (http://www.ebi.ac.uk/ena/data/view/GCA_000005005.5). The default setting options were adopted in this process, namely, 'm' and 'n' values were set to 1 and 0, respectively, in running the program 'ref_map.pl'. The data having been provided from Stacks were at first sorted in terms of 'catalogs' each of which carries information of its standard 50 bp sequence in addition to its coordinate (location in the genome with referring the entire genomic sequence information), i.e. the information of each catalog was connected with that of each inbred on depth (the number of read copies) and allele(s) (hereafter a

'catalog' will be called a locus because, in the maize GwS and other molecular breeding, a catalog will be regarded and handled as a molecular locus). Subsequently, loci of each inbred were filtered out if their depths were less than seven (because such small numbers of repetitions were not thought trustable enough in determining the relevant genotypes) or if plural alleles were judged to exist within the inbred (because such plural alleles within an inbred might be the reflection of repeated sequences from plural genome regions). The loci not filtered out were defined in this study as 'trustable loci'. Then each trustable locus was surveyed on polymorphisms (any kinds of different sequence information including insertion or deletion) over the 34 inbreds, and those having any polymorphism(s) were defined as 'potential loci'. The following analyses and discussion were made based only on the potential loci.

Dendrogram drawing

Based on the polymorphisms on the potential loci, the authors drew a dendrogram of the 34 inbreds for the verification of the reliability of the obtained data by comparing with those drawn in the previous studies on simple sequence repeat (SSR) (Enoki *et al.*⁷⁾ and on SNP genotyping¹³⁾, and with the pedigree of each inbred. The

Table 2. The numbers of trustable and potential loci (found among the 34 inbreds), and the sizes and lengths of each chromosome

	Chromosome numbers										Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Trustable loci ¹⁾	22188 (.145)	16649 (.109)	16673 (.109)	19381 (.127)	16455 (.108)	12869 (.084)	13159 (.086)	12545 (.082)	12022 (.079)	10717 (.070)	152658
Potential loci ²⁾	1986 (.138)	1611 (.112)	1647 (.115)	1744 (.121)	1504 (.105)	1206 (.084)	1260 (.088)	1208 (.084)	1146 (.080)	1072 (.075)	14384
Size (in Mbp)	301 (.146)	238 (.116)	232 (.113)	242 (.118)	218 (.106)	169 (.082)	177 (.086)	175 (.085)	157 (.076)	150 (.073)	2059
Length (in cM)	286 (.158)	183 (.101)	209 (.116)	189 (.105)	173 (.096)	138 (.076)	158 (.087)	172 (.095)	164 (.091)	136 (.075)	1808

* The value in each parenthesis indicates the ratio of the relevant chromosome toward the total.

The size and length of each chromosome are quoted from the websites

http://www.ebi.ac.uk/ena/data/view/GCA_000005005.5 and http://www.maizegdb.org/complete_map?id=1203637, respectively.

¹⁾ A molecular locus is judged trustable if it fulfill the following three conditions in at least one of the 34 inbred lines shown in Table 1, i.e.,

- (1) its depth is seven or more,
- (2) no plural alleles exist within the relevant inbred lines, and
- (3) its coordinates have been identified.

²⁾ A trustable locus is judged potential if polymorphisms have been found among the inbred lines.

See Materials and Methods for more details of trustable and potential loci.

rules for the drawing were mostly equivalent to those in our previous SNP genotyping study¹³, where the calculation of genetic distance (GD) of each pair have been made on the ratio of polymorphic potential loci toward all shared ones, and where the drawing was made in the unweighted pair group method with arithmetic mean (UPGMA). The exceptional difference in the drawing rules between this study and the previous one was that the polymorphism judgement was made only on whether the sequences of the two relevant inbreds were equivalent or not, i.e. the number of polymorphic nucleotide(s) per locus was disregarded.

Results and Discussion

As shown in Table 1, 1.28×10^6 catalogs (substantially equivalent to loci) were provided in the genotyping process by Stacks on the 34 inbreds. About 12% of them, 1.53×10^5 , were judged trustable in at least one inbred, and 14384 trustable loci were judged potential, namely had any kinds of polymorphisms among the inbreds. These trustable and potential loci were found distributed genomewide without unevenness (Table 2). Figure 1 is a dendrogram drawn based on the calculated GDs. The GD between two inbreds ranged from 0.049 (=135/2747, between 'Ki66' and 'Ki74') to 0.435 (=1317/3026, between 'Na99' and 'Na103') with the average of 0.344. The dendrogram well accords with the previous studies and the pedigrees. For example, (1) it shows that molecular polymorphisms clearly divide the three genetic groups MD, RD and JF, as reported in Enoki *et al.*⁷. (2) It accords with the pedigrees that 'Ho102' has been developed from a three-way cross of ('Na7' \times 'Mi29') \times 'Mi29', and that 'Mi111' and 'N09-07' have been developed from the same F₂ line. And, (3) this dendrogram shows what have been found in our previous SNP study¹³, i.e., that 'Ki66', 'Ki70' and 'Ki74' have extremely close genetic backgrounds to each other, that 'Ho95' is quite distant from any other inbreds belonging to the same JF group, and that the GDs between 'Na50' and 'Na101' and between 'Mi47' and 'Na103' are relatively close though they have been developed independently. (Hereafter the five pairs, 'Ho102' and 'Mi29', 'Mi111' and 'N09-07', 'Ki66' and 'Ki70', 'Ki66' and 'Ki74', and 'Ki70' and 'Ki74', are excluded from the subsequent discussion on the potential of RAD-Seq for GwS, because GwS for such a pair of inbreds

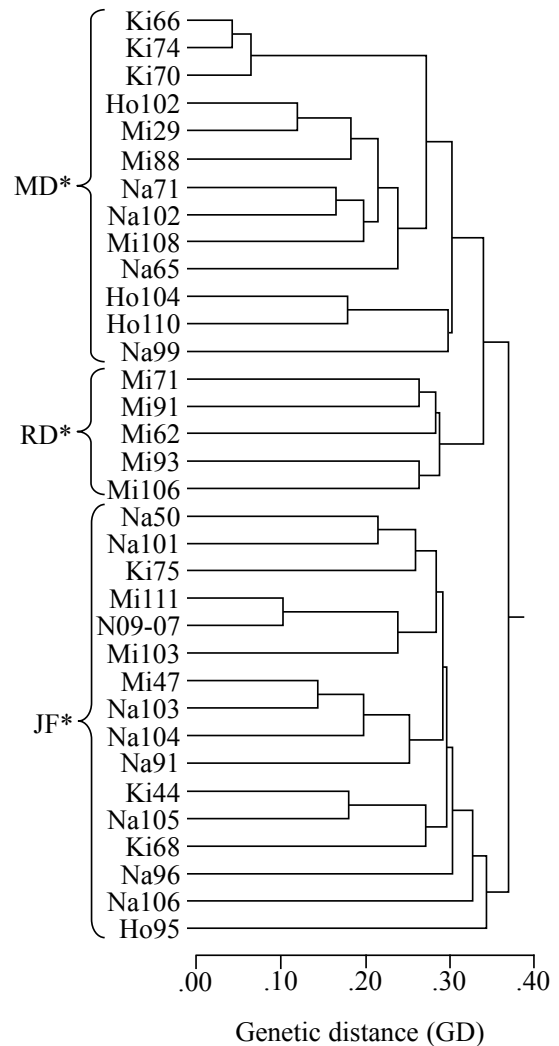


Fig. 1. The unweighted pair group method with arithmetic mean (UPGMA) dendrogram of genetic relationships among 34 inbred lines calculated on the basis of genetic distances of the 4627 trustable polymorphic loci obtained.

* MD, RD and JF are the dent genetic group from U.S. cornbelt, the semi-dent genetic group from hybrids for summer seeding, and the flint genetic group derived from Japanese landraces, respectively (See Materials and Methods for more details).

having extremely close genetic backgrounds to each other is thought impractical.) Table 3 shows the numbers of polymorphic potential loci found from pairs in identical genetic groups. The numbers ranged from 373 (between 'Mi88' and 'Na71') to 1106 (between 'Na103' and 'Na106') unless the pairs have extremely close genetic backgrounds to each other. Figure 2 is a mixed graph to describe how many potential loci are shared by how many inbred lines. It shows the tendency that each of most loci are shared only by a small number of inbreds; more than 75% (10871) of the

Table 3. The number of polymorphic potential loci found in each pair of inbreds belonging to the same genetic groups.

(A) MD*

	Na102	Na99	Na71	Na65	Mi108	Mi88	Mi29	Ki74	Ki70	Ki66	Ho110	Ho104
Ho102	738	763	463	597	754	404	<u>389</u> ²⁾	641	697	706	808	652
Ho104	772	758	536	540	834	642	764	630	749	699	469	
Ho110	962	841	631	695	1004	761	915	732	907	838		
Ki66	765	886	576	656	855	672	770	<u>135</u> ¹⁾	<u>231</u> ¹⁾			
Ki70	742	878	530	669	868	694	779	<u>196</u> ¹⁾				
Ki74	666	755	500	568	749	602	717					
Mi29	674	794	509	525	646	602						
Mi88	658	757	373 ³⁾	577	662							
Mi108	654	920	460	530								
Na65	603	732	460									
Na71	408	617										
Na99	894											

(B) RD*

	Mi106	Mi93	Mi91	Mi71
Mi62	601	709	556	640
Mi71	625	668	508	
Mi91	551	644		
Mi93	636			

(C) JF*

	N09-07	Na106	Na105	Na104	Na103	Na101	Na96	Na91	Na50	Mi111	Mi103	Mi47	Ki75	Ki68	Ki44
Ho95	799	940	956	1040	1051	992	935	829	865	978	982	1008	867	903	919
Ki44	766	862	590	933	966	847	968	758	758	919	1001	782	787	737	
Ki68	795	901	832	858	828	840	786	707	690	983	930	781	764		
Ki75	668	888	878	870	779	806	840	714	608	759	920	700			
Mi47	687	1024	953	751	539	990	864	597	842	937	973				
Mi103	697	1038	1025	919	978	960	920	757	768	833					
Mi111	<u>341</u> ²⁾	1031	998	992	1006	942	981	814	630						
Na50	622	810	787	778	803	587	663	665							
Na91	663	788	715	752	625	719	756								
Na96	790	968	971	962	932	950									
Na101	856	746	746	970	1050										
Na103	771	1106 ³⁾	1061	751											
Na104	763	1052	1074												
Na105	894	785													
Na106	861														

* MD, RD and JF are the dent genetic group from U.S. corn-belt, the semi-dent genetic group from hybrids for summer seeding, and the flint genetic group from Japanese landraces, respectively (see Materials and Methods for more details).

¹⁾ Because 'Ki66', 'Ki70' and 'Ki74' are judged genetically extremely close to each other, the relevant three pairs (shown in the italic font with underlines) have been excluded from discussion on the potential of GwS (see Materials and Methods for more details).

²⁾ The pairs of 'Ho102' and 'Mi29' and 'Mi111' and 'N09-07' (shown in the italic font with underlines) have been excluded from discussion on the potential of GwS because of their extremely close pedigrees (see Materials and Methods for more details).

³⁾ The pairs of 'Na103' and 'Na106' and 'Mi88' and 'Na71' (shown in the bold font with underlines) have been found to have the most and least potential loci among all pairs shown above but the five mentioned above.

14384 potential loci are shared by less than a half (17) of the all 34 inbreds. Table 1 also suggests this tendency, showing that each inbred holds only 3412 to 5866 potential loci.

The authors have concluded from these results that RAD-Seq can be a powerful genotyping tool in the future maize GwS for the following two reasons. One is that the dendrogram of this study well accords to those of the previous ones (Figure 1), meaning that the genotyping

information is trustable enough as a whole. The other is that the RAD-Seq operation of this study provided sufficient numbers not only of trustable molecular loci on each material (3412 to 5866) distributed genomewide (Tables 1 and 2), but also of polymorphic potential loci found in each of most pairs of inbreds in identical genetic groups (more than 373 unless the pair of inbreds have extremely close genetic backgrounds to each other, Table 3). Considering the

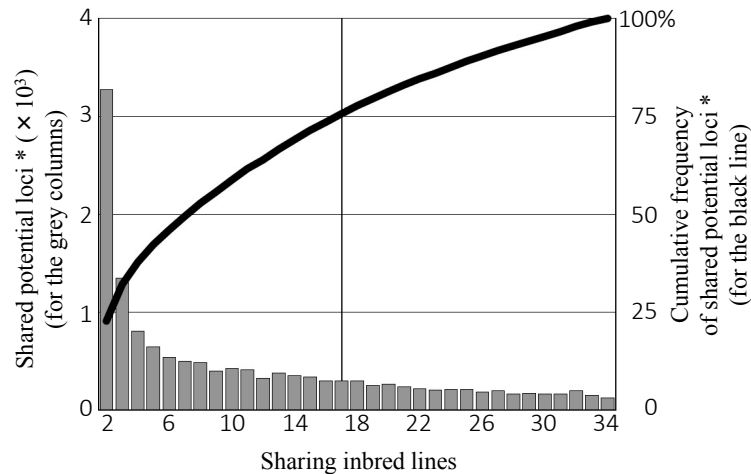


Fig. 2. A mixed graph to describe how many potential loci* are shared by how many inbred lines (by the grey columns with the left scale), and the cumulative frequency toward the total 14384 potential loci (by the black line with the right scale).

* A molecular locus is defined potential if it fulfills the following three conditions in at least two of the 34 inbred lines shown in Table 1,
 (1) its depth (the number of copies) is seven or more,
 (2) plural alleles do not exist within the relevant inbred line, and
 (3) polymorphism exists between/among the inbred lines.
 See Materials and Methods for more details.

findings from our previous computer-simulation study¹²⁾ that the GwS requires at least 90 molecular markers arranged genomewide, RAD-Seq can be judged to provide sufficient numbers of polymorphic potential loci, and to be a highly potential genotyping tool for the maize GwS. The previous studies on RAD-Seq handling miscellaneous materials (e.g. Chattopadhyay *et al.*⁴⁾) have also reported the tendency shown in Figure 2 that each of most loci are shared only by a small number of entries. It will be an annoying problem in genotyping materials having been derived from a wide genetic background, but not in the maize GwS the authors consider to adopt, because the genotyping will be made in this GwS not on such miscellaneous materials but on an F_2 population derived from a pair of inbreds. Therefore RAD-Seq can be regarded as a feasible genotyping tool for the GwS also in terms of this point.

References

- 1) Baird, N.A., Etter, P.D., Atwood, T.S., Currey, M.C., Shiver, A.L., Lewis, Z.A., Selker, E.U., Cresko, W.A. and Johnson, E.A. (2008). Rapid SNP discovery and genetic mapping using sequenced RAD markers, *PLoS ONE*, 3(10), e3376.
- 2) Beissinger, T.M., Hirsch, C.N., Sekhon, R.S., Foerster, J.M., Johnson, J.M., Muttoni, G., Vaillancourt, B., Buell, C.R., Kaeppler, S.M. and de Leon, N. (2013). Marker density and read-depth for genotyping populations using genotyping-by-sequencing, *Genetics*, 193, 1073–1081.
- 3) Bernardo, R. and Yu, J. (2007). Prospects for genomewide selection for quantitative traits in maize, *Crop Sci.*, 47, 1082–1090.
- 4) Chattopadhyay, B., Garg, K.M. and Ramakrishnan, U. (2014). Effect of diversity and missing data on genetic assignment with RAD-Seq markers, *BMC Res. Notes*, 7, 841.
- 5) Bolger, A.M., Lohse, M. and Usadel, B. (2014). Trimmomatic: A flexible trimmer for Illumina Sequence Data, *Bioinformatics*, btu170.
- 6) Davey, J.W., Hohenlohe, P.A., Etter, P.D., Boone, J.Q., Catchen, J.M. and Blaxter, M.L. (2011). Genome-wide genetic marker discovery and genotyping using next-generation sequencing, *Nat. Rev. Genet.*, 12, 499–510.
- 7) Enoki, H., Sato, H., and Koinuma, K. (2002). SSR analysis of genetic diversity among maize inbred lines adapted to cold regions of Japan, *Theor. Appl. Genet.*, 104, 1270–1277.

- 8) MAFF (2014). Fiscal Year 2013 Annual Report on Food, Agriculture and Rural Areas in Japan -Summary, 1-36, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of Japan.
- 9) Meuwissen, T.H.E., Hayes, B.J. and Goddard, M.E. (2001). Prediction of total genetic value using genome-wide dense marker maps, *Genetics*, 157, 1819–1829.
- 10) Nagano, A.J. (2013). Genomewide SNP analyses with the cost starting from JPY3000 per sample, *Center for ecological research news Kyoto University*, 119, 5 (in Japanese).
- 11) Peterson, B.K., Weber, J.N., Kay, E.H., Fisher, H.S. and Hoekstra, H.E. (2012). Double digest RADseq: an inexpensive method for de novo SNP discovery and genotyping in model and non-model species, *PLoS ONE* 7(5), e37135.
- 12) Tamaki, H., Sato, H., Kikawada, T. and Mitsuhashi, S. (2012) Preliminary study on ‘genomewide selection’ for maize (*Zea mays* L.) breeding in Japanese public sectors: Estimated selection response in the first selfing cycle of single-cross progeny, *Grassl. Sci.*, 58, 20–27.
- 13) Tamaki, H., Matsumoto, T., Mitsuhashi, S., Okumura, N., Kikawada, T. and Sato, H. (2014). A study on ‘genomewide selection’ for maize (*Zea mays* L.) breeding in Japanese public sectors: single nucleotide polymorphisms observed among parental inbred lines, *Bull. NARO Inst. Livest. Grassl. Sci.*, 14, 1–11.
- 14) Yan, J., Yang, X., Shah, T., Sanchez-Villeda, H., Li, J., Warburton, M., Zhou, Y., Crouch, J.H. and Xu, Y. (2010). High-throughput SNP genotyping with the GoldenGate assay in maize, *Mol. Breed.* 25, 445–451.
- 15) Yu, J. and Buckler, E.S. (2006). Genetic association mapping and genome organization of maize, *Curr. Opin. Biotech.*, 17, 155–160.

Supplements

Oligo-nucleotide sequences

TruSeq_NdeI_adaptor 1
 /5Phos/T*A*GAGATCGGAAGAGCACACGTCTGAACTC
 CAGTC*A*C

TruSeq_NdeI_adaptor 2
 G*T*CAAGTTTCACAGCTCTTCCGATC*T*C

TruSeq_BglII_adaptor 1
 A*A*TGATACGGCGACCACCGAGATCTACACTCTTTCC
 CCTACACGACGCTCTT*C*C

TruSeq_BglII_adaptor 2
 G*A*TCGGAAGAGCTGTGCAGA*C*T

TruSeq_Univ_primer 2
 AATGATACGGCGACCACCGAGATCTACACTCTTTCCC
 TACACGA

TruSeq_IP001_XXXXXX
 CAAGCAGAAGACGGCATAACGAGATXXXXXXGTGACTG
 GAGTTCAGACGTGT

“ * ” = phosphorothioate bond

XXXXXX = 6 mer index sequence

日本の公的機関でのトウモロコシ (*Zea mays* L.) 育種のためのゲノムワイド セレクションの予備研究として行われた RAD-Seq 法により発見された 親自殖系統群内のゲノム全体にわたる分子多型

玉置宏之・三ツ橋昇平・工藤洋¹・永野惇^{1,2,a}・八杉公基^{1,b}

農研機構畜産草地研究所 草地管理研究領域, 那須塩原市, 329-2793

¹ 京都大学, 大津市, 520-2113

² 科学技術振興機構さきがけ研究員, 川口市, 332-0012

摘 要

著者らは、日本の公的機関が行っているサイレージ用トウモロコシ育種における収量性改良の効率化のためにゲノムワイドセレクション (GwS) の導入を検討しているが、GwS では同一の遺伝背景を持つ一対の親自殖系統間においてゲノム全体にわたり 90 個以上の分子マーカーを配置する必要がある。本研究の目的は、GwS におけるジェノタイプング手法としての RAD-Seq 法の有用性を評価することであった。制限酵素と次世代シーケンサーを用いてゲノム全体のジェノタイプングを行う RAD-Seq 法の長所は高い再現性と少ない解析費用である。日本の公的機関が育成した 3 群の遺伝背景に由来する 34 親自殖系統の分子多型を RAD-Seq 法により調査した結果、ゲノム全体にわたる 14384 の多型が発見された。これらの多型を基に描かれた樹形図は、既往の研究および各親自殖系統の育成記録とよく一致した。また同一の遺伝背景を持つ一対の親自殖系統の間に発見された多型の数は、両者が極端に近縁でない限り 373 個から 1106 個であった。以上のことから著者らは、RAD-Seq 法が将来の GwS におけるジェノタイプング手法として高い潜在性を持っていると結論した。

キーワード：ゲノムワイドセレクション, 自殖系統, トウモロコシ育種, 分子多型, RAD-Seq 法

^a 現 龍谷大学, 大津市, 520-2194

^b 現 基礎生物学研究所, 岡崎市, 444-8787

Changes in Plasma Ghrelin Concentrations in Vitamin A–restricted Japanese Black Steers

Masayuki HAYASHI, Kyoko KIDO¹ and Kyoko HODATE^{2a}

Animal Physiology and Nutrition Research Division,
NARO Institute of Livestock and Grassland Science, Tsukuba, 305-0901 Japan

¹ Grassland Management Research Division,
NARO Institute of Livestock and Grassland Science, Miyota, 389-0201 Japan

² Livestock Research Support Center,
NARO Institute of Livestock and Grassland Science, Tsukuba, 305-0901 Japan

Abstract

The objective of this study was to establish the effect of vitamin A (VA) feeding status on the plasma concentrations of acylated ghrelin, insulin, glucose, and leptin in Japanese Black steers. Eight 14-month-old Japanese Black steers were fattened for 58 weeks. The experimental period was divided into stages 1 (weeks 1–28), 2 (weeks 29–44), and 3 (weeks 45–58). The steers were divided into 3 groups: S (n = 2, VA supplemented), R (n = 3, VA restricted), and RS (n = 3, VA restricted in stages 1 and 2 and supplemented in stage 3). In stage 2, groups R and RS showed lower plasma VA and ghrelin concentrations than those in group S. In stage 3, group R showed lower values for the above concentrations than those in groups S and RS. Group RS showed lower values for the above concentrations and metabolizable energy (ME) intakes in the VA-restricted stage 2 than in the VA-supplemented stage 3. However, VA restriction did not affect the plasma concentrations of insulin, glucose, or leptin. In conclusion, long-term VA restriction decreased the plasma concentrations of VA and acylated ghrelin as well as ME intake in Japanese Black steers. Decreased ghrelin levels may be associated with the decreased feed intake in the VA-restricted cattle.

Key words: fattening, ghrelin, Japanese Black steers, vitamin A restriction

Introduction

In Japan, the market value of a beef carcass greatly depends on the marbling score, which is determined by the degree of marbling of intramuscular fat in the *longissimus thoracis* muscle¹¹⁾, and meat with a high score is expensive²⁰⁾. Several factors, including the breed^{13,25)}, length of the fattening period²¹⁾, type of grain³³⁾, and

amount of feed²⁵⁾, can affect marbling or the intramuscular fat content. Vitamin A (VA) restriction contributes to high-quality beef production by increasing both the amount of marbling^{6,7,19,24)} and the level of monounsaturated fatty acid in meat²⁴⁾. However, VA is an essential factor for several biological processes in mammalian species³⁾. During the fattening of Japanese Black steers, which is known as breed with excellent marbling, VA restriction throughout

the fattening period reduces feed intake and causes intermuscular edema¹⁰⁾. Reduced feed intake is a well-known effect of VA restriction in other breeds of cattle^{8,32)}. However, there have been few studies related to appetite-regulating factors in VA-restricted cattle. There have been previous studies regarding leptin^{10,29)} and insulin²⁹⁾ in VA-restricted steers as well as glucose and insulin-like growth factor I in vitamin A-, D₃-, and E-restricted steers¹⁴⁾. In those studies, VA restriction did not influence these appetite-regulating factors. However, other factors may influence feed intake in VA-restricted cattle.

Here, we focused on another peptide hormone, ghrelin. Ghrelin, which was discovered in the stomachs of rats¹²⁾, is believed to stimulate appetite¹⁵⁾. Furthermore, in cattle, ghrelin-positive cells are present in the abomasum⁹⁾, and ghrelin administration increases the time spent eating and dry matter intake in beef cattle³¹⁾. However, there have been no reports regarding ghrelin in VA-restricted cattle. We hypothesized that VA restriction affects ghrelin concentrations in cattle. The objective of this study was to evaluate the effect of VA restriction on circulating levels of hormones, including ghrelin, and glucose in fattening Japanese Black steers.

Materials and Methods

Animals, management, and treatments

All animals received humane care as outlined in the Guide for the Care and Use of Experimental Animals (Animal Care Committee, NARO Institute of Livestock and Grassland Science).

The experiment included eight half-sibling Japanese Black steers, aged 14 months. Those steers were bought at a livestock market and the experiment was started after the quarantine period and the animals were housed in a pen and mangers with door feeders (Orion Machinery, Suzaka, Japan) equipped with automatic locks that respond to a magnetic device attached to the cattle's collar. This enables the feed intake measurement for each animal in the group housing. Their mean body weight (BW) \pm standard error (SE) was 338.2 \pm 13.8 kg. The experiment duration was 58 weeks. The periods from weeks 1–28, weeks 29–44, and weeks 45–58 were defined as stages 1, 2, and 3, respectively. The steers were randomly assigned to three groups for VA treatment.

Group S (n = 2) received weekly oral supplementation of 296.8 IU VA/kg BW (42.4 IU/kg BW/day) throughout the experimental period. Group R (n = 3) was subjected to restricted VA administration, whereby once supplemental VA per 4 weeks was administered only when the plasma VA concentration was near or below 30 IU/dL to prevent deficiency, according to the feeding standard¹⁾. Group RS (n = 3) was subjected to restricted VA administration, as described for group R during stages 1 and 2, but received oral VA supplementation as described for group S during stage 3. The supplement was VA palmitate (2000 IU/g as VA; BASF Vitamins Co., Ltd., Tokyo, Japan). No steers exhibited serious symptoms of VA deficiency as a result of the VA treatment in this experiment.

The feeding conditions were designed according to the Japanese Feeding Standard for Beef Cattle¹⁾ and were typical for beef cattle in Japan. Compositions of the experimental diets are shown in Table 1. The designed concentrate to roughage ratios were 75:25 for stage 1 and 91:9 for stages 2 and 3. Timothy hay was used as roughage in stage 1, and rice straw, which generally contains low levels of the VA precursor β -carotene, was used in stages 2 and 3. The steers were offered enough feed to obtain daily gain (DG) of 1.0 kg in stages 1 and 2 and 0.7 kg in stage 3. The steers were housed in a pen equipped with an individual discriminating door feeder and were fed once daily at 09:00 h. Fresh water was always available.

BW and metabolizable energy (ME) intake

BW was measured before feeding at the beginning

Table 1. Composition of experimental diets

	Stage	
	1	2 and 3
Ingredient (%)		
Timothy hay	25.0	0.0
Rice straw	0.0	9.0
Flaked barley	25.5	42.8
Flaked corn	22.5	31.8
Wheat bran	16.5	10.0
Soybean meal	9.0	5.0
Calcium carbonate	1.0	0.5
Salt	0.5	0.9
Crude Protein (% dry matter) ¹	16.9	10.9
ME (MJ/kg dry matter) ¹	12.3	12.9

¹ Values calculated from Standard Tables of Feed Composition in Japan¹⁶⁾

of the experiment (week 0) and every 2 weeks. ME intake was calculated from the daily recording of dry matter intakes and Standard Tables of Feed Composition in Japan¹⁶). The DG and ME intake values were summarized as means for each stage.

Measurement of plasma VA, hormone, and glucose concentrations

Blood samples were collected from the jugular vein of the cattle every 4 weeks before feeding. Blood samples for hormone and glucose measurements were collected into vacuum blood collection tubes containing EDTA·2Na (Venoject II; Terumo, Tokyo, Japan); 5000 Kallikrein Inhibitor Units of aprotinin solution (Trasyol; Bayer, Leverkusen, Germany) were added to 10 mL of blood, and the sample was then placed on ice. Blood samples were then centrifuged at 4 °C for 20 min at 1000 *g*. Plasma samples for the ghrelin assay were acidified using a 1:10-volume of 1 N HCl to preserve the integrity of acylated ghrelin. Plasma samples for VA concentration measurement were collected into tubes containing heparin (Venoject II), placed on ice, and centrifuged at 4 °C for 20 min at 1000 *g*. All samples were stored at –80 °C until analysis. Plasma VA concentrations were measured through high performance liquid chromatography⁵). Acylated ghrelin concentrations were measured using a ghrelin (active) radioimmunoassay (RIA) kit (Linco Research Inc., St. Charles, MO, USA). Insulin concentrations were measured with an insulin Eiken RIA kit (Eiken Chemical Co. Ltd., Tokyo, Japan). Leptin concentrations were measured using a multi-species leptin RIA kit (Linco Research Inc.). The intra- and inter-assay coefficients of variation (CV) for the ghrelin RIA were 3% and 1%, respectively. The insulin was assayed in a single RIA with the intra-assay CV of 3%. The intra- and inter-assay CVs for the leptin RIA were 3% and 4%, respectively. Plasma glucose concentrations were measured using the Glucose CII Test Wako kit (Wako Pure Chemical Industries, Osaka, Japan).

Statistical analyses

All values are expressed as means and SE unless otherwise stated. The DG and ME intake values and plasma VA, hormone, and glucose concentrations were analyzed using the MIXED procedures (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). The VA treatment, stage, and their interaction

were treated as fixed effects, and each steer was treated as a random effect. For the analysis of the DG and ME intake, “variance components” were specified as the covariance structure in the REPEATED statement; for all other factors, “first-order autoregressive” was specified. If a treatment, stage or interaction was significant at $P < 0.05$, the significance was evaluated via multiple comparisons at an alpha level of 0.05 using the LSMEANS statement and specifying TUKEY for the adjust option.

Results

Changes in BW, DG, and ME intake

Figure 1 shows BW changes throughout the experimental period. The mean BW increased during the 58 weeks from 332.3 kg to 698.8 kg in group S, from 352.4 kg to 684.1 kg in group R, and from 328.0 kg to 653.2 kg in group RS. Stage and interaction had significant effects on the least-squares mean for DG (Table 2). Figure 2 shows the changes in DG during the experimental period. As planned, Group S gained approximately 1 kg/day in stages 1 and 2 and approximately 0.7 kg/day in stage 3. Groups R and RS, however, had lower DG values in stages 2 and 3 than in stage 1. Group S exhibited a significant difference in DG between stages 1 and 3, and between stages 2 and 3. Groups R and RS exhibited a significant difference in DG between stages 1 and 2 and between stages 1 and 3. In stage 2, groups R and RS had significantly lower DG values than group S; however, all groups had similar DG values in stage 3.

Stage and interaction had significant effects on

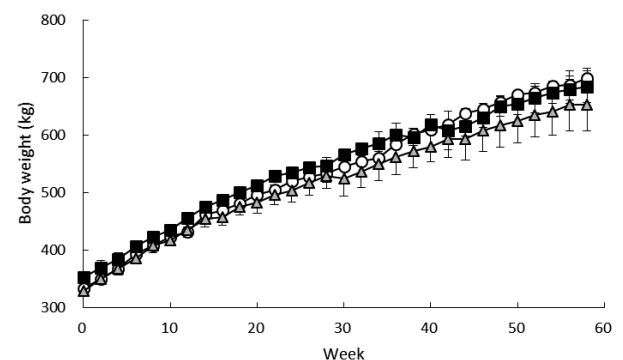


Fig. 1. Changes in mean BW during experiment in VA-supplemented and -restricted steers. Open circles: group S. Closed squares: group R. Gray triangles: group RS.

ME intake (Table 2). Figure 3 shows changes in the mean ME intake. Group S had similar ME intakes in all stages. Group R had lower intakes in stages 2 and 3 than in stage 1, and ME intake was significantly different between all stages. Group RS had a significantly lower ME intake in stage 2 than in stages 1 and 3, and the ME intake in stage 3 was similar to that in stage 1. In stage 2, groups R and RS had lower ME intakes than group S, but the differences between the VA treatment groups were not significant.

Plasma VA concentration

The VA treatment, stage, and interaction significantly affected the VA concentrations of each fattening

stage (Table 2). Figure 4 shows changes in the mean plasma VA concentrations. Group S had concentrations exceeding 80 IU/dL in all stages. Group R had significantly lower concentrations in stages 2 and 3 than in stage 1. Group RS had significantly lower concentrations in stage 2 than in stages 1 and 3. In stage 2, groups R and RS had significantly lower concentrations than those in group S. In stage 3, group R had significantly lower concentrations than those in groups S and RS.

Plasma ghrelin concentrations

The VA treatment and interaction had significant effects on plasma ghrelin concentrations, whereas there

Table 2. Least squares means with standard errors and *P* values in the model for DG, ME intake, plasma vitamin A, glucose and hormone concentrations in VA-supplemented and –restricted steers.

Item	Treatment ¹			Stage ²			<i>P</i> -value		
	Group S	Group R	Group RS	1	2	3	Treatment	Stage	Interaction
DG (kg/day)	0.88±0.08	0.69±0.07	0.75±0.07	1.01±0.05 ^a	0.71±0.05 ^b	0.61±0.05 ^b	0.31	<.001	0.008
ME intake (MJ/day)	102.6±2.8	96.5±2.3	96.6±2.3	104.7±1.6 ^a	92.3±1.6 ^c	98.7±1.6 ^b	0.26	<.001	0.015
Vitamin A (IU/dL)	144.8±13.7 ^a	63.3±11.2 ^b	85.4±11.2 ^b	114.1±7.4 ^a	74.9±8.1 ^b	104.5±8.6 ^a	0.013	<.001	<.001
Ghrelin (pg/mL)	106.5±7.1 ^a	63.3±5.9 ^b	70.6±5.8 ^b	78.7±4.6	71.0±6.4	90.7±7.2	<.001	0.12	0.003
Insulin (µU/mL)	27.0±5.2	22.0±4.2	24.3±4.2	17.0±2.8 ^b	29.4±3.3 ^a	26.9±3.6 ^a	0.77	<.001	0.64
Glucose (mg/dL)	58.0±1.3	55.5±1.1	57.5±1.1	60.0±0.8 ^a	55.1±1.0 ^b	56.0±1.1 ^b	0.34	<.001	0.16
Leptin (ng/mL HE)	8.6±1.3	8.1±1.1	7.3±1.1	6.5±0.7 ^b	8.5±0.7 ^a	8.9±0.8 ^a	0.75	<.001	0.41

^{a,c} Means with different superscripts differ between treatments or stages (*P* < 0.05).

¹ Treatments: R group = Vitamin A feeding restricted; S group = Vitamin A supplemented; RS group = Vitamin A feeding restricted during stages 1 and 2 and supplemented during stage 3

² Stage: 1 = from week 1 to 28; 2 = from week 29 to 44; 3 = from week 45 to 58

DG: Daily gain

ME: Metabolizable energy

HE: Human equivalent

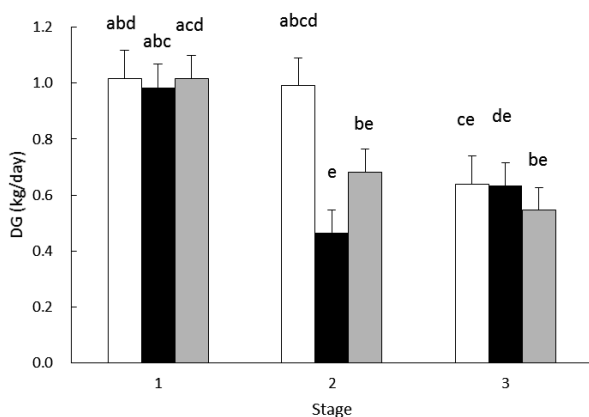


Fig. 2. DG values of each stages in VA-supplemented and -restricted steers (least-squares mean ± SE). Open columns: group S. Closed columns: group R. Gray columns: group RS. ^{a-e} Means with different letters differ significantly (*P* < 0.05).

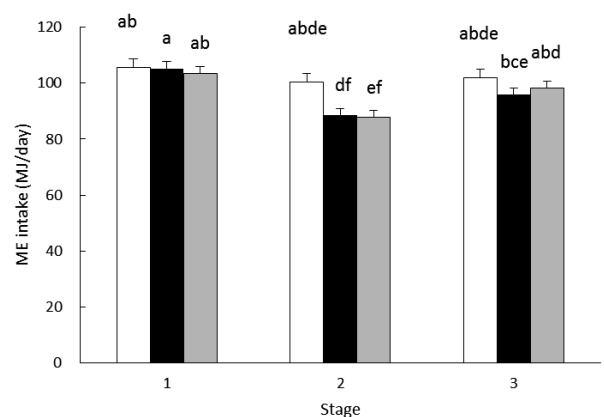


Fig. 3. ME intake of each stages in VA-supplemented and -restricted steers (least-squares mean ± SE). Open columns: group S. Closed columns: group R. Gray columns: group RS. ^{a-f} Means with different letters differ significantly (*P* < 0.05).

was no significant effect of stage (Table 2). Figure 5 shows changes in the mean ghrelin concentrations. Group R had lower concentrations in stages 2 and 3 than in stage 1, but these differences were not significant. Group RS had a lower concentration in stage 2 than in stages 1 and 3, and ghrelin concentrations were significantly different between stages 2 and 3. In stage 2, groups R and RS had significantly lower concentrations than those in group S. In stage 3, group R had lower concentrations than those in groups S and RS, and groups R and S showed difference trend ($P = 0.053$).

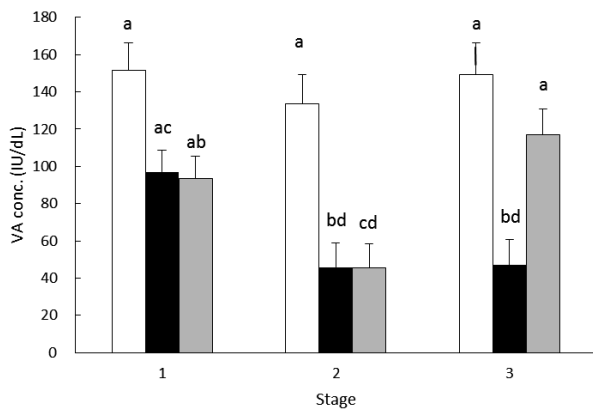


Fig. 4. Changes in VA concentrations in VA-supplemented and -restricted steers during experiment (least-squares mean \pm SE).

Open columns: group S. Closed columns: group R. Gray columns: group RS. ^{a-d} Means with different letters differ significantly ($P < 0.05$).

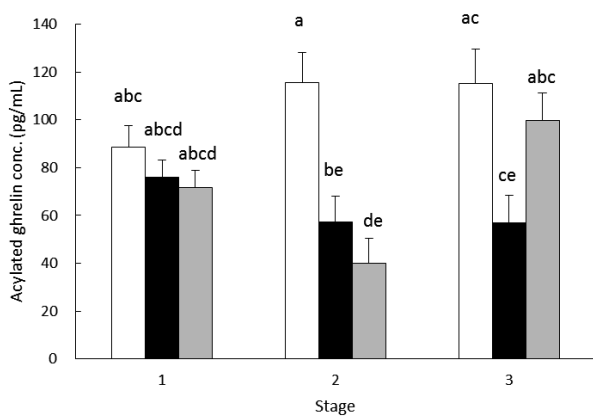


Fig. 5. Changes in plasma ghrelin concentrations in VA-supplemented and -restricted steers during experiment (least-squares mean \pm SE).

Open columns: group S. Closed columns: group R. Gray columns: group RS. ^{a-e} Means with different letters differ significantly ($P < 0.05$).

Plasma insulin, glucose, and leptin concentrations

Stage had significant effects on the plasma insulin, glucose, and leptin concentrations, but there were no significant effects of the VA treatment or interaction (Table 2). The insulin and leptin concentrations were significantly higher in stages 2 and 3 than in stage 1. The glucose concentrations were significantly higher in stage 1 than in stages 2 and 3.

Discussion

In this study, the increases in BW reflected the normal growth of steers. The VA treatments affected both the plasma VA and ghrelin concentrations. The changes in these concentrations were similar in three respects. First, in group RS, the concentrations of both factors were lower in stage 2 than in stages 1 and 3. In this group, the higher concentrations in stage 3 than in stage 2 suggested that, for these factors, the effect of VA feeding status was greater than the effect of feed composition. Second, in stage 2, the plasma VA and ghrelin concentrations were both lower in groups R and RS than in group S. Finally, in stage 3, the concentrations of both factors were lower in group R than in groups S and RS. Whereas, intravenous short chain fatty acid injection decrease blood ghrelin concentration in wethers ⁴). In our study, VA restriction affected the value of ME intakes (Figure 3). It suggests that VA restriction caused the difference in the feed intake, altered the rumen fermentation and short chain fatty acid production, and consequently, decreased the blood ghrelin concentration. However, rumen total short chain fatty acid concentration did not differ between the high concentration and high roughage diet in Holstein steers ¹⁸). In our study, differences in feed intake between the high concentration and high roughage diet were not extreme. It suggests that difference in rumen fermentation was not large between the experimental groups before feeding. Blood short chain fatty acids are considered as transited from rumen. Thus we presume that VA restriction does not largely alter the blood short chain fatty acid concentration before feeding, and that the blood short chain fatty acid did not largely affect the blood ghrelin concentrations. We therefore conclude that in this experiment, VA restriction decreased the ghrelin concentrations in steers and that VA supplementation to VA-restricted steers increased the ghrelin concentrations.

This is the first report to show a decrease in plasma ghrelin concentrations in VA-restricted animals. Our results demonstrate a possible relationship between VA restriction and plasma ghrelin concentrations in cattle. Several factors affect the plasma ghrelin concentrations in cattle, including feed restriction²⁾, negative energy balance³⁰⁾, and intravenous glucose administration²²⁾. However, those factors cannot explain our observed changes in ghrelin concentration following VA restriction. Therefore, other factors, which have not been considered to be related with ghrelin, might be involved. One possible mechanism is the involvement of the nuclear ligand function of VA. VA restriction might reduce ghrelin mRNA expression because VA acts as a nuclear ligand²³⁾ and can regulate mRNA expression of several genes. However, ghrelin is not known as target of nuclear receptors involved in VA. Further studies are required to understand the mechanism that underlies this VA restriction-mediated effect on ghrelin.

In contrast, VA restriction did not affect plasma concentrations of leptin, insulin, or glucose. This result agrees with those from the previous studies^{10,14,28,29)}, indicating that VA restriction, the degree of which did not cause VA deficiency, probably did not reduce the plasma concentrations of these factors in steers. VA restriction was also found to influence ME intake. Groups R and RS exhibited lower ME intakes during VA-restricted stages. A decrease in feed intake is considered as a sign of VA deficiency in cattle^{1,17)}. VA supplementation increased the dry matter intake in a dose-dependent manner in bulls that were fed a low- β -carotene diet³²⁾. Moreover, Japanese Black steers exhibited greatly reduced feed intake at serum retinol, which is the main circulating type of VA, concentrations below 20 IU/dL¹⁰⁾. Our results are consistent with these findings. However, the underlying mechanisms remain unknown. In the present study, similar changes were observed in ghrelin concentrations and ME intakes. In particular, group RS had both lower ghrelin concentrations and lower ME intakes during the VA-restricted stage 2 than during the VA-supplemented stage 3. This similarity suggests an association between plasma ghrelin concentrations and feed intake in VA-restricted steers. Ghrelin is considered to be an appetite stimulator in rodents and humans. In cattle, ghrelin administration stimulates eating behavior³¹⁾. Sheep, which are fed multiple times a day, exhibit a peak serum ghrelin concentration

before feeding, which quickly decreases after feeding^{26,27)}. Moreover, feed-restricted cattle have higher ghrelin concentrations³⁰⁾. These results also suggest an association between eating behaviors and ghrelin concentrations in ruminants. However, VA-restricted cattle exhibit various symptoms¹⁷⁾, suggesting that VA restriction induces several physiological responses. Further studies are required to determine the mechanistic relationship between the feed intake and VA restriction status.

In conclusion, the present study showed that long-term VA-restricted feeding decreased the plasma VA and acylated ghrelin concentrations as well as ME intake in Japanese Black steers. Providing VA supplementation to VA-restricted steers increased the concentrations of both plasma VA and acylated ghrelin as well as ME intake. However, VA restriction did not affect the plasma concentrations of insulin, glucose, or leptin. Decreased plasma ghrelin concentration may reduce the feed intake in VA-restricted cattle.

Acknowledgments

This study was supported in part by research grants for meat and meat products from the Ito Foundation. We are grateful for expert technical support during the animal experiments from the Technical Support Section 1 (NARO Institute of Livestock and Grassland Science).

References

- 1) Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat (2000). Japanese feeding standards for beef cattle, Japan Livestock Industry Association, Tokyo, Japan.
- 2) Bradford, B. J. and Allen, M. S. (2008). Negative energy balance increases periprandial ghrelin and growth hormone concentrations in lactating dairy cows, *Domestic Animal Endocrinology*, 34, 196–203.
- 3) Chaney, S. G. (2002). Principles of Nutrition II: Micronutrients, in *Textbook of Biochemistry With Clinical Correlations*, 1137–1168, Wiley-Liss, New York, USA
- 4) Fukumori, R., Sugino, T., Hasegawa, Y., Kojima, M., Kangawa, K., Obitsu, T., and Taniguchi, T. (2011). Plasma ghrelin concentration is decreased by short

- chain fatty acids in wethers, *Domestic Animal Endocrinology*, 41, 50–55.
- 5) Furr, H. C., Cooper, D. A. and Olson, J. A. (1986). Separation of retinyl esters by nonaqueous reversed-phase high-performance liquid-chromatography, *Journal of Chromatography*, 378, 45–53.
 - 6) Gorocica-Buenfil, M. A., Fluharty, F. L., Bohn, T., Schwartz, S. J. and Loerch, S. C. (2007). Effect of low vitamin A diets with high-moisture or dry corn on marbling and adipose tissue fatty acid composition of beef steers, *Journal of Animal Science*, 85, 3355–3366.
 - 7) Gorocica-Buenfil, M. A., Fluharty, F. L., Reynolds, C. K. and Loerch, S. C. (2007). Effect of dietary vitamin A concentration and roasted soybean inclusion on marbling, adipose cellularity, and fatty acid composition of beef, *Journal of Animal Science*, 85, 2230–2242.
 - 8) Guilbert, H. R. and Hart, G. H. (1934). Storage of vitamin A in cattle, *Journal of Nutrition*, 8, 25–44.
 - 9) Hayashida, T., Murakami, K., Mogi, K., Nishihara, M., Nakazato, M., Mondal, M. S., Horii, Y., Kojima, M., Kangawa, K. and Murakami, N. (2001). Ghrelin in domestic animals: distribution in stomach and its possible role, *Domestic Animal Endocrinology*, 21, 17–24.
 - 10) Hodate, K., Miyashige, T., Higashiyama, Y., Taniguchi, T., Miyazaki, S. and Miyamoto, T. (2004). Relationship between Intermuscular Edema and Hypoalbuminemia in Vitamin-A-deficient Steers, *Journal of the Japan Veterinary Medical Association*, 57, 371–376.
 - 11) Japan Meat Grading Association (1988). *New Beef Carcass Grading Standards*, Tokyo, Japan.
 - 12) Kojima, M., Hosoda, H., Date, Y., Nakazato, M., Matsuo, H. and Kangawa, K. (1999). Ghrelin is a growth-hormone-releasing acylated peptide from stomach, *Nature*, 402, 656–660.
 - 13) Malau-Aduli, A. E. O., Edriss, B. D., Siebert, B. D., Bottema, C. D. K. and Pitchford, W. S. (1999). Breed differences and genetic parameters for melting point, marbling score and fatty acid composition of lot-fed cattle, *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 83, 95–105.
 - 14) Matsuzaki, M., Hara, S., Ogawa, M., Shiba, N. and Tsuneisi, E. (1998). Effects of vitamins A, D₃ and E on growth performance and carcass characteristics, and on lipolytic responsiveness and insulin secretion in Japanese Black steers, *Animal Science and Technology*, 69, 741–753.
 - 15) Nakazato, M., Murakami, N., Date, Y., Kojima, M., Matsuo, H., Kangawa, K. and Matsukura, S. (2001). A role for ghrelin in the central regulation of feeding, *Nature*, 409, 194–198.
 - 16) National Agricultural Research Organization (2001). *Standard Tables of Feed Composition in Japan*, Japan Livestock Industry Association, Tokyo, Japan.
 - 17) National Research Council (1996). *Vitamins and Water*, in *Nutrient requirement of beef cattle*, 75–84, National Academy Press, Washington, D.C.
 - 18) Obara, Y., Kakino, J. and Motoi, Y. (1994). Changes in Acid-base Status of Holstein Steers Fed High Raughage or High Concentration Diet, *Animal Science and Technology (Japan)*, 65, 347–354.
 - 19) Oka, A., Maruo, Y., Miki, T., Yamasaki, T. and Saito, T. (1998). Influence of vitamin A on the quality of beef from the Tajima strain of Japanese Black cattle, *Meat Science*, 48, 159–167.
 - 20) Okamoto, K., Kuchida, K., Kato, T., Suzuki, M. and Miyoshi, S. (2003). Influence of Image Analysis and Carcass Traits on Beef Carcass Price, *Nihon Chikusan Gakkaiho*, 74, 475–482.
 - 21) Okumura, T., Saito, K., Sakuma, H., Nade, T., Nakayama, S., Fujita, K. and Kawamura, T. (2007). Intramuscular fat deposition in principal muscles from twenty-four to thirty months of age using identical twins of Japanese Black steers, *Journal of Animal Science*, 85, 1902–1907.
 - 22) Roche, J. R., Sheahan, A. J., Chagas, L. M. and Boston, R. C. (2008). Short communication: change in plasma ghrelin in dairy cows following an intravenous glucose challenge, *Journal of Dairy Science*, 91, 1005–1010.
 - 23) Samarut, E. and Rochette-Egly, C. (2012). Nuclear retinoic acid receptors: conductors of the retinoic acid symphony during development, *Molecular and Cellular Endocrinology*, 348, 348–360.
 - 24) Siebert, B. D., Kruk, Z. A., Davis, J., Pitchford, W. S., Harper, G. S. and Bottema, C. D. K. (2006). Effect of low vitamin A status on fat deposition and fatty acid desaturation in beef cattle, *Lipids*, 41, 365–370.
 - 25) Steen, R. W. J. and Kilpatrick, D. J. (1995). Effects of plane of nutrition and slaughter weight on the carcass composition of serially slaughtered bulls, steers and

- heifers of three breed crosses, *Livestock Production Science*, 43, 205–213.
- 26) Sugino, T., Hasegawa, Y., Kikkawa, Y., Yamaura, J., Yamagishi, M., Kurose, Y., Kojima, M., Kangawa, K. and Terashima, Y. (2002). A transient ghrelin surge occurs just before feeding in a scheduled meal-fed sheep, *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 295, 255–260.
- 27) Sugino, T., Yamaura, J., Yamagishi, M., Ogura, A., Hayashi, R., Kurose, Y., Kojima, M., Kangawa, K., Hasegawa, Y. and Terashima, Y. (2002). A transient surge of ghrelin secretion before feeding is modified by different feeding regimens in sheep, *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 298, 785–788.
- 28) Tokuda, T., Kono, S. and Fujihara, T. (2001). The relationships between leptin and vitamin A levels in plasma of fattening cattle supplemented with vitamin A, *Animal Science*, 73, 433–441.
- 29) Tokuda, T. and Yano, H. (2001). Blood leptin concentrations in Japanese Black cattle, *Animal Science*, 72, 309–313.
- 30) Wertz-Lutz, A. E., Daniel, J. A., Clapper, J. A., Trenkle, A. and Beitz, D. C. (2008). Prolonged, moderate nutrient restriction in beef cattle results in persistently elevated circulating ghrelin concentrations, *Journal of Animal Science*, 86, 564–575.
- 31) Wertz-Lutz, A. E., Knight, T. J., Pritchard, R. H., Daniel, J. A., Clapper, J. A., Smart, A. J., Trenkle, A. and Beitz, D. C. (2006). Circulating ghrelin concentrations fluctuate relative to nutritional status and influence feeding behavior in cattle, *Journal of Animal Science*, 84, 3285–3300.
- 32) Wilk, H. and Flachowsky, G. (1990). Untersuchungen zum Vitamin-A-Bedarf und zum Vitamin-A-Status wachsender Rinder 2. Mitteilung Untersuchungen an Mastrindern, *Archiv für Tierernährung*, 40, 101–115.
- 33) Yamada, M., Sakurai, Y., Kobayashi, M., Iguchi, A., Kanbe, Y., Kasai, K., Iijima, T., Katsumi, Y., Asada, T., Hayashi, M. and Hodate, K. (2008). Effect of whole-shelled corn feeding in the finishing period on growth performance and carcass measurements in Japanese Black steers, *Nihon Chikusan Gakkaiho*, 79, 51–58.

ビタミン A 給与制限下の黒毛和種去勢牛における血漿中グレリン濃度の推移

林征幸・木戸恭子¹・甫立京子^{2a}

農研機構畜産草地研究所 家畜生理栄養研究領域, つくば市, 305-0901

¹ 農研機構畜産草地研究所 草地管理研究領域, 御代田町, 389-0201

² 農研機構畜産草地研究所 畜産研究支援センター, つくば市, 305-0901

摘 要

本研究は黒毛和種去勢牛へのビタミン A (VA) 給与制限が血漿中グレリン, インスリン, グルコースおよびレプチン濃度に与える影響を明らかにすることを目的とする。14 ヶ月齢黒毛和種去勢牛 (n = 8) を 58 週間肥育した。試験期間はステージ 1 (1 週目より 28 週目まで), 2 (29 週目より 44 週目まで), 3 (45 週目より 58 週目まで) に区切った。試験牛は 3 区に群分けした: S 区 (n = 2, VA を給与), R 区 (n = 3, VA 給与を制限), および RS 区 (ステージ 1 および 2 は VA 給与を制限, ステージ 3 は給与)。ステージ 2 において, R 区および RS 区は S 区よりも血漿中 VA およびグレリン濃度が低かった。ステージ 3 において, R 区は他の 2 区よりもこれらの値は少なかった。RS 区においては, これらの値および代謝エネルギー (ME) 摂取量は VA を給与されていたステージ 3 よりも VA 給与を制限されていたステージ 2 の方が低かった。一方, VA 給与制限は血漿中インスリン, グルコースおよびレプチン濃度には影響を与えなかった。以上より, 黒毛和種去勢牛に対する長期の VA 給与制限は血漿中 VA 濃度, グレリン濃度および ME 摂取量を減少させると考えられる。VA 給与を制限されたウシにおいて飼料摂取量が減少することと血中グレリン濃度低下には関係がある可能性がある。

キーワード: 肥育牛, グレリン, 黒毛和種, ビタミン A 給与制限

自給粗飼料の生産履歴・計量法と放牧牛体型測定法の開発

喜田環樹

農研機構畜産草地研究所 草地管理研究領域, 御代田町, 389-0201

要 約

食料・農業・農村基本計画では、自給率向上のため2020年に粗飼料自給率100%を達成目標とし、そのための方策として耕種農家の水田を活用した飼料イネ等の国産粗飼料の生産利用拡大や、公共牧場における放牧を推進している。そこで本研究では、自給粗飼料の流通促進のために生産履歴管理システムとロールベール計量手法の開発と、公共牧場の放牧牛の飼養管理技術として3Dデジタルカメラを用いた放牧牛体型測定法の開発を行った。

国産粗飼料の流通利用促進のために、2011年にトウモロコシの流通基準が、2012年には飼料イネの流通基準が策定され、生産履歴管理が推奨されている。そこで流通基準に準拠したロールベールの品質管理手法として、栽培情報や収穫調製時の圃場の状態を記録管理し、圃場でロールベールに貼り付ける製品ラベルに履歴情報を印刷する生産履歴管理システムを開発した。また流通基準で推奨項目としているロールベールの質量測定について、収穫作業時に用いる自走式ベールラップの油圧を利用して計量する手法の開発し、400kg程度までのロールベールを±5kgの精度で計量できることを明らかにした。

公共牧場の放牧飼養の高度化技術として、3Dデジタルカメラによる画像解析から放牧牛の体型を推定する手法を検討した。3Dデジタルカメラを用いて、放牧牛から3m程度はなれた場所から放牧牛の側面を撮影し、3D画像を解析することにより、体尺計による計測値と比べ、±4cm程度で体高測定が可能であることを明らかにした。さらに撮影をより省力的に行うため、放牧草地の水飲み場前に3Dデジタルカメラの自動撮影装置を設置し、放牧牛の自動撮影を試みたところ、無人で放牧牛の3D撮影と体型解析が可能であることを明らかにした。

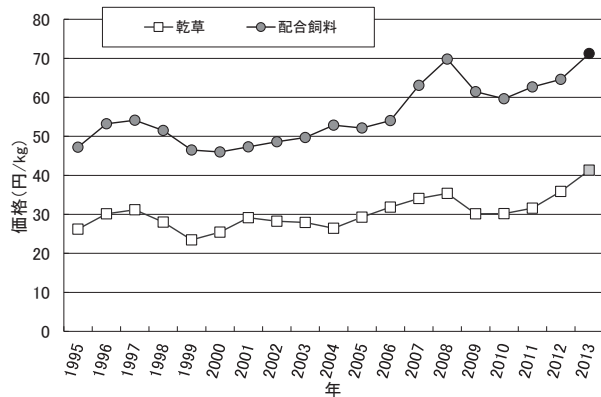
以上、開発した飼料イネの生産履歴管理システムおよび自走式ベールラップ用計量装置により、飼料イネ等の国産粗飼料のロールベール流通利用の推進が期待される。また3Dデジタルカメラによる放牧牛の体型解析手法により、放牧牛の飼養管理が高度化されることが期待される。

キーワード：飼料イネ, 3Dデジタルカメラ, 放牧, ロールベール

第1章 緒 言

畜産業は農業総産出額の31%を占める重要な産業である。そのうち乳牛・肉牛は畜産業産出額の半分を占め、農業総産出額の15%を占める³⁷⁾。乳牛・肉牛は、草地で生産したサイレージや乾草等の粗飼料と、トウモロコシや穀類等の配合飼料（濃厚飼料）により飼養される。従来は農家所有の牧草地で生産された自給粗飼料や放牧飼養により乳・肉を生産し、ふん尿を草地に還元する循環型農法による自己完結型の経営が行われてきた。しか

し、飼養頭数規模の拡大に伴い、無税で輸入され、入手性の良い輸入乾草や輸入配合飼料等の輸入飼料に依存した経営が主体となっている。2013年における粗飼料自給率は78%、配合飼料自給率は12%、全体の飼料自給率は26%と低く、74%を輸入飼料に依存している³⁷⁾。輸入飼料の価格は安価で安定していたが、2007年以降、米国におけるバイオエタノール利用の推進、米国やオーストラリアの干ばつ、中国や中近東諸国の輸入量増加、為替の変動等の様々な要因により価格が上昇し続けており、畜産農家の経営を圧迫している（図1）³⁸⁾。



出典: 農林水産省「流通飼料価格等実態調査」(速報版)及び(公社)配合飼料供給安定機構「飼料月報」

図1. 輸入飼料価格の推移

「食料・農業・農村基本計画」³³⁾では、自給飼料の生産拡大および飼料自給率の向上を目的として、2020年に粗飼料自給率100%を達成目標としている。飼料増産の推進政策として、耕畜連携による飼料増産(水田等での飼料イネと飼料米の増産、青刈りトウモロコシの増産、優良品種の導入)および低・未利用地を活用した草地の効率的利用等を掲げている³⁴⁾。

耕畜連携による飼料増産では、水田の活用が重要と考えられる。米は農業総産出額の22%を占めるが、米消費量の低迷、生産調整により、作付面積は年々減少を続け、遊休水田面積(水田面積—水田作付面積)は2013年で81.8万haに達している^{37,38)}。遊休水田の一部は飼料作転換畑として利用されているが、飼料作に向かない湿潤な転換圃場も多く、その取り組みは進んでいない。水田での飼料増産には、湿潤な水田圃場で安定して生産可能な飼料イネ、飼料米が適していると考えられる^{2,52,67)}。しかし、飼料イネと飼料米の生産費は食用米とほぼ同等であり、飼料作物の生産費とは差が大きいことから、生産コストの低減が重要な課題となっている。さらに飼料イネと飼料米は、食用米品種と専用品種の両方が利用されており、生産現場では転用防止や混入防止のために、保管や流通に労力、コストを要している。加えて戸別所得補償制度等の助成金申請のために、耕種農家と畜産農家間での栽培協定契約が義務づけられ、両者の調整や書類作成の手間が問題となっている。

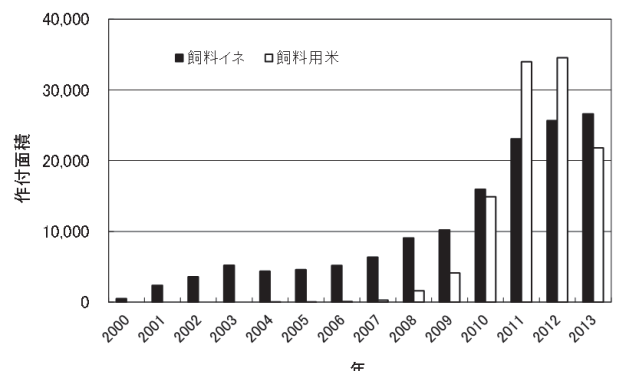
草地の効率的利用では放牧の活用が重要と考えられる。放牧は低コストで省力的な飼養手法で、乳牛では初産分娩までの育成期間で、肉牛では繁殖牛の分娩までの期間において広く行われている。北海道では各農家の草地で放牧されている事例が多いものの、府県では農地の制約等から公共牧場での放牧が大半である。公共牧場の草地は国内草地面積の約15%を、特に都府県では40%

を占める重要な飼料基盤であり、その利用率の向上が重要な課題となっている。

近年食の安全の問題から、食品分野では生産から消費までの一連の取引を記録管理するトレーサビリティの取り組みが進んでいる。畜産分野においても、2001年に発生した牛海綿状脳症(BSE)で牛用飼料への動物性蛋白質の混入が問題となり、以降BSEまん延防止のために、牛トレーサビリティ法⁴⁰⁾や飼料安全法により牛用飼料(A飼料)と豚鶏用飼料(B飼料)は別ラインで管理されている。さらに牛一頭ごとに個体識別番号を付与し、個体識別台帳による記録管理実施が義務付けされている。2000年および2010年に発生した口蹄疫では、家畜伝染病予防法が改正され、発生農場からのまん延防止のために家畜衛生管理区域が設定された。飼料についても、口蹄疫がまん延している国からの稲わら等の輸入禁止や燻蒸処理が義務付けられた⁴¹⁾。さらに、2011年の震災による原発事故では、事故後に収集された汚染稲わらが飼料として流通し、飼料流通の情報管理が課題となった³⁵⁾。今後、畜産経営の安全性確保のために、最終生産物である畜産物の品質管理のみならず、中間生産物である飼料や家畜飼養管理においても、トレーサビリティの取り組みが重要となると考えられる⁴²⁾。そこで本研究では、水田を活用した飼料イネ等の流通利用推進、および放牧推進のための省力的な飼養管理技術の開発を実施した。

1.1 自給粗飼料の流通技術の開発

自給粗飼料増産では、耕畜連携による水田の活用が期待されている。戸別所得補償モデル対策等の飼料増産の取り組み政策により、耕作放棄水田等を活用した飼料イネの作付面積は2013年度に約26,600haまで拡大し、飼料用米の取り組みも拡大している^{39,43)}(図2)。また、近年は水田裏作として、飼料ムギ(コムギ、オオムギ等)



出典: 農林水産省平成25年度新規需要米の取組計画認定状況

図2. 飼料イネと飼料用米の作付面積推移

の二毛作の取り組みも広がりつつある^{11,47,53,57,63)}。

飼料イネは、畜産農家の牧草収穫機械や、軟弱な水田圃場に対応した専用収穫機^{8,50,61)}、自走式ベールラップ⁶²⁾(図3)により収穫調製されている。そのほとんどがロールベールラップサイレージ(以下、ロールベール)として調製され、屋内外で保管後(図4)に、粗飼料として牛に給与されている⁶⁸⁾。収穫適期である黄熟期に収穫された飼料イネ専用品種の飼料価値はイタリアンライグラス乾草と同程度とされ、重要な粗飼料源である。

当初、飼料イネの生産と利用は同一地域内の耕種農家と畜産農家が連携し、顔の見える地域内流通が主であった。しかし、飼料イネの作付面積の拡大に伴い収穫調製作業はコントラクタ等の生産組織に委託され、耕種農家、コントラクタ、畜産農家が連携する生産利用



図3. 自走式ベールラップ
(タカキタ社 SW1120D)



図4. 飼料イネロールベールの屋外保管事例

が広がってきている^{6,60)}。

その一方、地域内における飼料イネの需給バランスが崩れ、過剰に生産されている地域と、畜産農家が利用を希望しても入手が困難な地域が生じつつあり、地域や市町村域、さらに県域を超えた顔の見えない広域取引が広がりつつある⁵⁸⁾。全国の市町村を対象とした飼料イネのアンケート調査では、耕種農家の46%が飼料イネの広域的な流通が可能になれば作付面積の拡大を図りたいとの意向を示している¹⁾。しかし、畜産農家は土地や臭気の問題から、郊外や中山間地に位置し、一方耕種農家は平野部に位置することから両者の距離は離れていることが多い。今後、飼料イネの需給バランスを取りつつ生産拡大を図るためには、ロールベールの流通促進は重要な課題と考えられる。

広域流通においてロールベールは、畜産農家にとっては輸入乾草や配合飼料のように購入作物として取り扱われ、耕種農家・収穫調製作業を受託するコントラクタ組織にとっては換金作物として取り扱われることから、ロールベールの品質を担保することが重要となる。しかし、ロールベールはラップフィルムで梱包されており、未開封の状態では内容物の状態(サイレージの水分、熟期、発酵品質、カビの有無等)を判断することが困難である。収穫調製現場では、適期収穫に努め、ロールベールには土砂の混入を避け、ラップフィルムの破損がないように保管・流通させる等の工夫を行っているが、品質にばらつきが大きいことが課題となっている⁵⁹⁾。

この状況に対応し、耕種農家、収穫調製作業を受託するコントラクタ等の組織、畜産農家がともに納得し飼料イネを売買できるように、日本草畜産種子協会により飼料イネの流通基準が策定、公表された³⁰⁾。流通基準では、飼料イネの栽培管理や収穫調製に関する情報を記録して、必要に応じて畜産農家に提示するとともに、ロールベールにその情報の一部を記載したラベル(以下、製品ラベル)を貼付して流通利用することを推奨している(図5)。

しかしながら、流通基準で取り扱う収穫調製情報を記

項目	ロールベールの情報	備考
販売者名		
生産地		
圃場名		
品種名		
収穫年月日		
収穫時の熟期		
フィルムの枚数		
シリアル番号		

図5. 飼料イネ流通基準におけるロールベール用製品ラベルの推奨項目

録管理し、圃場にて製品ラベルを印刷しロールベールに貼付けるシステムは開発されておらず、その記録管理作業に多大な労力を要することが課題となっている。

流通基準でロールベールに貼付する製品ラベルの推奨記載項目のひとつとして質量がある。流通基準においてロールベール質量は、同日に同一条件で収穫されたロールベールを同一ロットとみなし、その中から3点以上を計量し、その平均値をラベルに記載することとしている。しかし、ロールベールの計量には、バールグリッパ等の重機、秤が必要で、計量作業には人員を要することから、生産現場ではロールベールの計量はほとんど実施されていないのが現状である。

そこで本研究では、流通基準に準拠した生産履歴項目を省力的かつ低コストで管理可能な生産履歴管理システムと製品ラベルの印刷手法を開発した。また収穫作業時に省力的にロールベールを計量する手法を開発した。

1.2 放牧牛の飼養管理技術の開発

公共牧場は、周辺地域の畜産農家から育成牛、繁殖牛の妊娠期間等の非生産期の家畜を預かり、その間の飼養を受託する外部支援機能を担う牧場で、草地造成事業等により、1970年代に開発と利用が推進された^{44,65)}。しかし、公共牧場数は低下傾向にあり、2012年で761牧場と、1990年から23%も減少している(図6)³⁶⁾。

近年、毎年10牧場程が活動を休止しており、飼料作物面積換算で約1,000haが未利用地となっている³¹⁾。公共牧場での放牧頭数は約13万頭で、放牧利用率(受入放牧頭数に対する受入可能頭数)は76%程度である。放牧利用率50%未満の公共牧場も多く、その比率は公共牧場数の27%程度に達している。また、放牧対象頭数のうち公共牧場を利用している頭数は乳用牛で17.7%、肉用牛で4.5%と少ない。公共牧場の農家利用率は酪農家の36.6%、肉用牛農家では7.3%であり、公

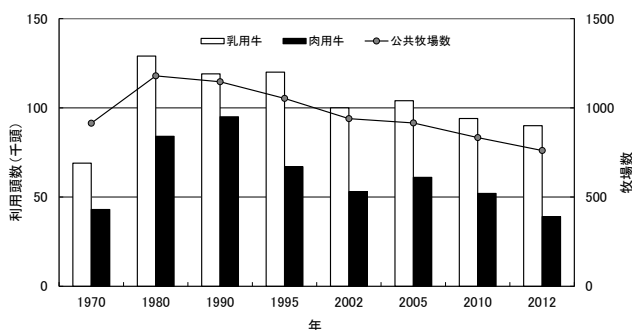
共牧場の利用農家数および利用頭数を増やすことが課題となっている³⁵⁾。

公共牧場での繁殖管理は、当初まき牛利用による繁殖が主体であったが、人工授精等の牛群改良技術の普及に伴い、育成牛の種付けが公共牧場における重要な業務となってきた。また、冬期間も預託利用可能な周年預託や、随時預託牛を受け入れる公共牧場も増えつつある。そのような畜産農家にとって利便性が高く、繁殖に対する評価が高い北海道や東北の一部の大規模公共牧場へ府県から預託が進む一方、多くの地域の公共牧場において預託頭数が減少する両極化が課題となっている⁴⁹⁾。

公共牧場の運営母体は県や市町村等の自治体、農家の組合等の共同運営によるものが多く、家畜の預託料と運営母体からの支援により運営されている。預託頭数の減少による運営費の削減により、草地の維持管理や家畜繁殖管理に手が行き届かなくなり、預託牛の育成成績や繁殖成績が低下し、さらに預託頭数が減少し、運営が厳しくなる悪循環に陥っている事例も見られる⁶⁴⁾。また近年は運営母体の財政も厳しい状況におかれ、多くの牧場において指定管理者制度による委託業務化が進み、経営の独立化が進んでいる²⁹⁾。預託農家と公共牧場の信頼関係を築くために、公共牧場から預託牛の発育、受胎、疾病の情報を預託農家へ提供すること³¹⁾等が重要な課題となっている。

牛の発育評価や繁殖供用時期の判定では、牛体重と体高が指標とされる。とくに初産種付けの時期は、早すぎると初産牛の体格に比して胎児の割合が大きいことから難産のリスクが高まり、遅れると経済的損失を伴う。それゆえ、初産種付け時期は月齢よりも体重、体高が重要とされ、ホルスタイン種では体重350kg、体高125cmが推奨されている³²⁾。しかし、公共牧場の体重計導入率は57%と低く、体重測定を実施している公共牧場は限られている⁴⁾。また、体尺計による体型測定は、測定者、記録係と2名以上の作業が必要で、牛の保定のための通路や牛の姿勢制御に労力、技量および牛の慣れを要し、危険も伴うことから、公共牧場ではほとんど実施されていない(図7)。このことから、公共牧場で利用可能な省力的な放牧牛体型計測技術の開発は重要と考えられる。

牛の体型計測手法として、口田ら²¹⁾は、ビデオカメラにより牛体と牛の横に置いた既知のサイズの枠を撮影し、撮影した画像内で両者の大きさを比較することで牛体高等の計測の可能性を報告している。近年は、対象物を複数回撮影した画像を解析し測量する立体視解析手法が広く実用化されてきている。2つの画像記録素子を有



出典：農林水産省、公共牧場をめぐる情勢。
http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kikaku/lin/hosin/pdf/1205boku_jousei.pdf

図6. 公共牧場数と利用頭数の推移



図7. 体尺計を用いた体高計測の様子

する3Dデジタルカメラによる立体視解析手法も普及してきており、コンパクトタイプの3Dデジタルカメラと専用3D画像解析装置が市販化されている。

そこで本研究では、公共牧場での簡易な体型測定手法として、体尺計の代わりに3Dデジタルカメラを用いて、非接触で放牧牛の体型測定する手法について検討した。さらに省力的に放牧牛の体型測定を実施するために、放牧牛の自動3D撮影手法について検討した。

1.3 本論文の構成

本論文は全7章からなる。

まず、第2章では、飼料イネのロールベールの広域流通推進を目的として、飼料イネの流通基準に準拠した生産履歴管理情報を管理するためのデータベースの開発と、収穫作業時に圃場で生産履歴システムに飼料イネの熟期や圃場の状態等を入力する圃場端末の選定、および圃場でロールベールに貼付ける製品ラベルを印刷する手法について検討した¹⁵⁾。飼料イネの収穫調製作業を受託するコントラクタ組織にて、開発した生産履歴管理システムの動作確認と作業時間について検討した。またロールベールの製品ラベルの耐久性の検討を行い、収穫作業時に圃場で印刷可能でかつ屋外で保管されるロールベールに貼付け1年以上利用可能なラベルプリンタとラベル紙を選定した。

次に第3章では、飼料イネのロールベール質量を簡易に計量することを目的に、収穫作業時に用いられる自走式ベールラップにロールベール計量機能を付記する手法について検討した¹⁴⁾。具体的には、自走式ベールラップのターンテーブルのリフト機構の油圧配管に、油圧センサおよびデータログを設置し、ターンテーブルを持ち上げた時の最大圧力値を指標としてロールベールの計量を行う手法を開発した。

第4章では、自走式ベールラップ車載式の油圧センサを用いた質量表示機を開発し、収穫作業時に圃場でロールベール計量試験を行い、その計量精度の評価を行った¹⁸⁾。また計量精度を改善すべく、自走式ベールラップの作動油温度を用いた補正手法について検討した。

第5章では自走式ベールラップ用の計量装置の計量精度を向上させるため、自走式ベールラップのターンテーブルを持ち上げた際に一定高さで静止させた時の圧力値を用いる手法について検討した。さらに同方式を用いた自走式ベールラップ用ロールベール計量装置の開発および収穫作業時における計量試験を実施した^{16,19)}。

第6章では、第2章で開発した生産履歴管理システムと製品ラベル印刷手法に、第3～5章で開発したロールベールの質量情報を反映させるために、自走式ベールラップ用計量装置用通信装置の開発と、生産履歴管理システムの改良を行い、飼料イネの収穫圃場でロールベール質量を計量し、印刷する製品ラベルに質量情報を反映させる手法について検討した。

第7章では、放牧牛の簡易体型測定手法として、3Dデジタルカメラを用いた体高解析手法について検討し、体尺計による体高測定値と3Dデジタルカメラによる体高の推定値との比較を行った¹⁷⁾。

第8章では、第7章における放牧牛の3Dデジタル画像撮影を省力化するために、放牧地の飲水場付近に自動撮影装置に3Dデジタルカメラを組み込んだ自動3D画像撮影装置を設置し自動撮影する手法を検討した²⁰⁾。自動撮影した3D画像から、放牧牛の体高の画像解析と、飲水行動の解析を行った。

最後に第9章でまとめて総括とした。

第2章 ロールベール流通のための生産履歴管理システムの開発

2.1 緒言

飼料イネは、戸別所得補償制度等の耕畜連携推進政策による生産計画に基づき契約栽培・利用されている。そのため耕種農家で生産された飼料イネは、同一地域の畜産農家で利用される体系が主体であった。しかし、畜産農家と耕種農家は隣接せず、両者の距離が離れていることが多く、飼料イネ作付面積の増加に伴い、飼料イネを地域外の遠方の畜産農家へ搬送する事例が増えつつあり、ロールベールの流通利用が重要な課題となってきた。

また、飼料イネの場合、栽培管理は耕種農家、収穫調製はコントラクタ組織等の作業受託、ロールベールの輸

送は運搬業者，給与利用は畜産農家が担う複雑な生産利用体系となっている。ロールベールは圃場から保管場所，保管場所から畜産農家の敷地，畜産農家の敷地から牛舎と複数回搬送し利用され，その都度ロールベールの内容物の情報を把握することが求められる。

飼料イネのロールベールは，調製後給与利用まで屋外にて長期間保管される。保管中のロールベールはラップフィルムにより梱包されているため，未開封の状態では外見から内容物種類や状態（サイレージの品質，カビの有無等）を判断することが困難である。

そこで，コントラクタ組織等では，畜産農家が飼料イネをより安心して購入利用できるよう収穫作業時に収穫日時，生産者の情報，圃場番号，通し番号等の詳細な情報をロールベールにマークで記入する取り組みが行われている²⁶⁾ (図8)。一部の生産団体では，収穫日や収穫圃場等を記載した製品ラベルをロールベールに貼付ける取り組みも見られる (図9)。すなわち，あらかじめ圃場番号等を記載した製品ラベルを印刷しておき，圃場でロールベールに貼付けた後に，通し番号等を手で製品ラベルに追記する¹³⁾ 事例や，収穫作業時に圃場毎のロールベール個数等をメモし，作業終了後に製品ラベルを印刷し，翌日にロールベールに製品ラベルを貼付ける⁴⁸⁾ 等である。製品ラベルは屋外環境で長期間記載内容が読み取れる耐久性とラップフィルム

から剥がれないことが要求される。これらの製品ラベル作成・貼付け作業には多大な労力を要することが課題となっている。

今後ロールベールの流通を推進するためには，生産履歴管理に加えて，品質に関する情報を提供することが必要となる。収穫・調製段階において，材料の品種，収穫時の熟度（熟期），病虫害の発生程度，土砂の混入等は，飼料成分，栄養価あるいは発酵品質に影響を及ぼすことが知られている。流通に際しては，これらの情報を示す必要がある。しかしながら上記を記録し，ロールベールの流通に際して記載する取り組みはほとんど行われていない。

そこで本研究では，飼料イネや飼料ムギ類の適切な生産履歴管理手法を確立するために，(1) 圃場の地番や所有者の情報(以下，圃場台帳)，および基幹作物，栽培品種，作付面積等の情報(以下，栽培履歴情報)を管理するデータベース，(2) 品種，熟期（熟度），病虫害の発生程度(以下，収穫時圃場情報)を圃場でデータベースに省力的に入力する手法，(3) 圃場でラベルに情報を印刷しロールベールに貼付ける手法を組み合わせるロールベールの生産履歴情報を管理するシステム(以下，生産履歴管理システム)を作成し，その実用性を検証した。

2.2 生産履歴管理システムの開発目標

生産現場における生産履歴管理作業の実態を踏まえ，生産履歴管理システムの開発目標を以下のように設定した。まず(1) 圃場台帳，栽培履歴情報，収穫時圃場情報を一元的に管理できること。次に(2) 圃場で収穫時圃場情報を記載した製品ラベルを印刷し，ロールベールに貼付けることにより，ロールベールの生産履歴管理を行うこと。次に(3) 製品ラベルは屋外環境下で1年間ロールベールから剥がれることなく，印字内容が読み取れる耐久性を持つこと。最後に(4) 生産履歴管理システムの運用，収穫時圃場情報の収集，製品ラベル印刷および貼付け作業は，収穫作業者に過度な負担とならないこと。

2.3 生産履歴管理システム

2.3.1 生産履歴管理システムの構成

開発目標から，生産履歴管理システムは圃場台帳，栽培履歴情報，収穫時圃場情報を一元的に管理するデータベースソフトウェア(以下，データベース)を核に構成した。生産履歴管理システムは，事務所の管理作業用PC(Windows系OS，以下，事務所PC)と，収穫作業時に屋外で作業する端末(ハンディターミナル，以下，

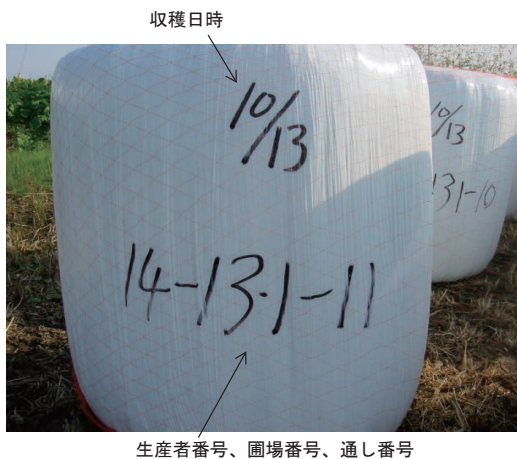
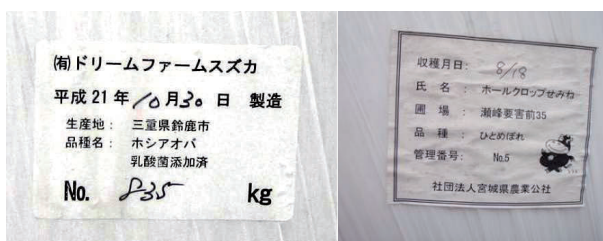


図8. ロールベール記載事例



ドリームファームズズカの製品ラベル

宮城県農業公社の製品ラベル

図9. ロールベール記載事例

HT) の2つでデータを共有する仕様とした(表1)。

圃場でデータ収集する HT と事務所 PC 間でのデータ受け渡しを容易とするため、生産履歴情報は CSV 形式ファイルの集合体として取り扱うこととした。また、生産履歴管理システムは、複数の CSV ファイルからなるデータベース形式とし、生産団体の管理項目に合わせて、データ項目を柔軟に変更可能な仕様とした。選定した HT (BT-1500W, キーエンス, 大阪市) はキーとバーコードによる操作が可能であるが、開発目標 (4) を念頭に、情報入力作業の省力化とミスの低減が可能なバーコード操作とした。バーコードの方式は日本語で多くの情報を内包可能な 2 次元コードである QR コード²⁷⁾ (デンソーウェーブ登録商標 (第 4075066 号)) を用いた。情報入力を簡単にするため、圃場で収集する項目を印刷した情報入力シートを用いた。

情報入力シートには各項目内容、チェックボックス、QR コードが印刷されている。QR コードには生産履歴管理システム上の処理コードを記載している。HT で QR コードをスキャンすることで、生産履歴管理システムへ圃場情報を反映できる。情報入力シートの項目は、熟期 (乳熟期, 黄熟期等)、圃場の状態 (良好, 軟弱等)、乳酸菌等の添加、倒伏の状態、病虫害の発生程度とした (図 10)。

ロールベールの生産組織では、ロールベールは圃場ごとに同一ロットとして管理していることが多い。そこで開発した生産履歴管理システムにおいても、ロールベールの生産履歴情報は既存の生産組織で用いられている圃場台帳と同様に圃場毎のロットとして取り扱うこととした。また、開発目標 (2) を満たすため、低消費電力 (55W) の熱転写方式のラベルプリンタ (B-EV4T-GC17-R, 東

芝 TEC, 東京都) を選定した。ラベルプリンタは DC/AC コンバータにて、車用バッテリー (12V, 35Ah) で給電する仕様とした。ラベル紙のサイズは縦 10cm, 横 10cm で、製品ラベルには生産者や品種、熟期等の文字情報に加えて、QR コードを記載する仕様とした (図 11)。なお、製品ラベルの印刷は圃場で行うことを想定しているが、事務所 PC でも可能である。製品ラベル紙には、後述の試験において耐久性に優れたものを選定した。

入力補助シート
【圃場名:〇〇〇、地番:〇〇〇1-1】

収穫時の熟度					
未熟期 <input type="checkbox"/>	乳熟期 <input type="checkbox"/>	糊熟期 <input type="checkbox"/>	黄熟期 <input type="checkbox"/>	完熟期 <input type="checkbox"/>	入力取消し <input type="checkbox"/>
圃場の状態					
良好 <input type="checkbox"/>	普通 <input type="checkbox"/>	軟弱 <input type="checkbox"/>	極めて軟弱 <input type="checkbox"/>	入力取消し <input type="checkbox"/>	
乳酸菌等の添加					
番草1号 <input type="checkbox"/>	スノーラクト <input type="checkbox"/>	FJLB <input type="checkbox"/>	その他 <input type="checkbox"/>	入力取消し <input type="checkbox"/>	
倒伏の状態					
無 <input type="checkbox"/>	微 <input type="checkbox"/>	中 <input type="checkbox"/>	多 <input type="checkbox"/>	甚 <input type="checkbox"/>	入力取消し <input type="checkbox"/>
病虫害の発生程度					
無 <input type="checkbox"/>	微 <input type="checkbox"/>	中 <input type="checkbox"/>	多 <input type="checkbox"/>	甚 <input type="checkbox"/>	入力取消し <input type="checkbox"/>

注) 収穫作業者は収穫前に圃場の状態を目視で確認し

該当項目にチェックを入れる。

図 10. QR コード付情報入力シート (一部抜粋)

10cm

収穫日:	2010年 ○月 ○日
生産者名:	〇〇〇生産組合
品種名:	ホシアオバ
収穫期熟度:	黄熟期
乳酸菌:	番草1号

10cm

注) QRコードはテスト版。

図 11. ロールベール製品ラベルの例

表 1. 生産履歴管理システムの構成

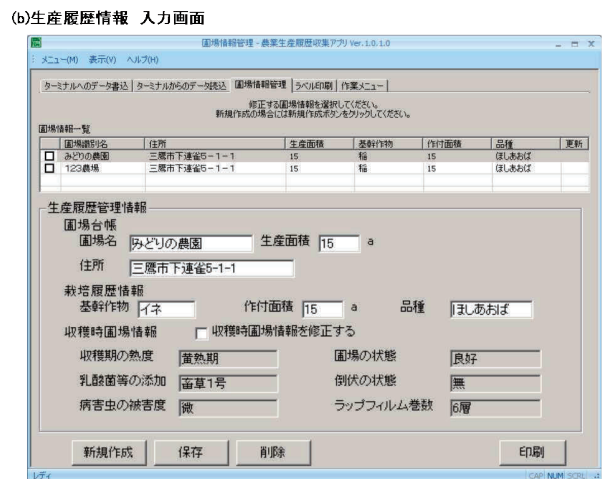
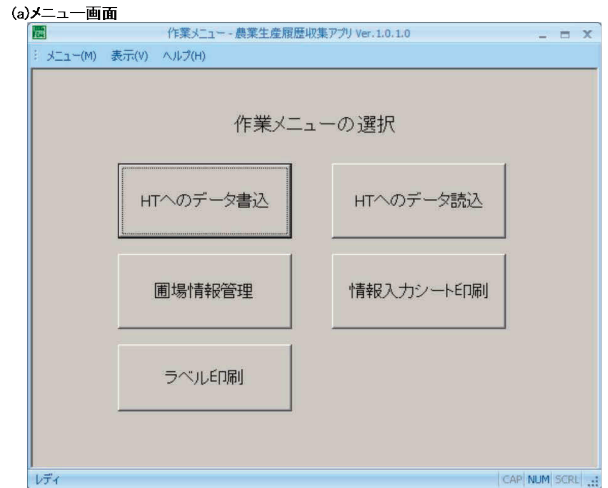
事務所の管理作業用 PC
WindowsOS
各データは CSV ファイルにより構成 (Visual C++)
情報収集端末 (HT)
キーエンス社: BT-1500W
QR コード読み取り機能
有線・無線 LAN (屋外見通し 100m)
防塵防水性: IP54 (JIS 防沫型)
耐落下 2m
連続使用時間: 約 16 時間
ラベルプリンタ
東芝テック: B-EV4T-GC17-R
外形寸法: 198 × 262 × 173mm
質量: 2.4kg
消費電力: 55W
印刷方式: 熱転写

生産履歴管理システムは、以下の手順で操作する(図12)。まず、(1) 事務所 PC のデータベースに予め圃場台帳情報として、圃場名、生産面積、住所を入力する。また、栽培履歴情報として、基幹作物名(飼料イネ、飼料ムギ類)、作付面積、品種を入力する(図13)。次に(2) 事務所 PC のデータベースから、当日作業する圃場の台帳情報を HT に転送する。さらに、収穫時に圃場で収集する項目を印刷した情報入力シートを当日作業する圃場分印刷する。次に(3) 収穫機の作業者が、各圃場での収穫作業前に圃場を確認し、情報入力シートの該当項目をチェックする。次に(4) 収穫機の作業者は、バールラップ作業者に情報入力シートを渡す。次に(5) 情報入力シートを受け取ったバールラップ作業者は、チェックされている項目とバールラップ作業者がチェックする項目(ラップフィルムの巻き数等)の QR コードを HT でスキャンする。次に(6) バールラップ作業者は、HT からラベルプリンタへ印刷コマンドを送信し、製品ラベルを印刷してロールバールに貼付ける。最後に(7) 作業終了後に事務所 PC のデータベースに HT から収穫時圃場情報データを転送する。情報入力シートのチェック項目と転送データの内容を確認、修正後に統合する。

2.3.2 結果および考察

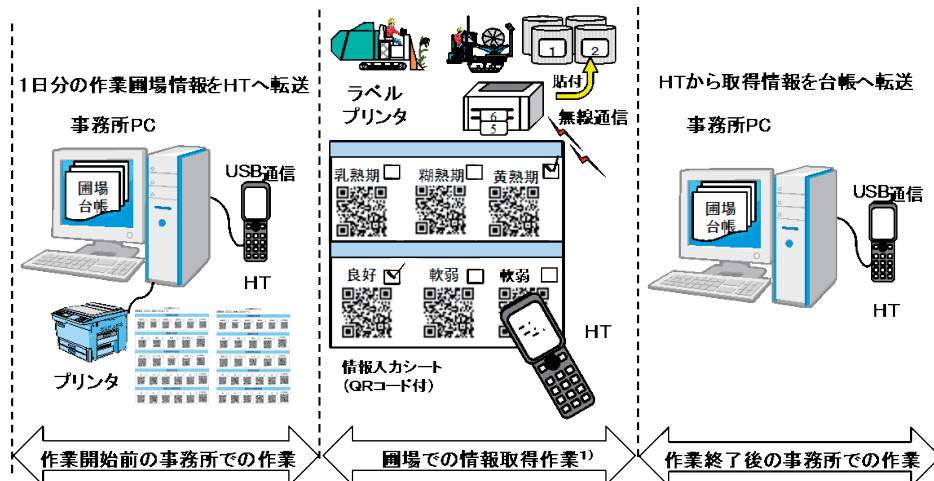
システムは圃場台帳、栽培履歴情報、収穫時圃場情報を一元的に管理できる仕様であり、開発目標の(1)を満たしている。システムの動作確認を行い、事務所 PC と HT データの入出力、屋外環境下での HT による情報入力シートからの収穫時圃場情報の読み込み、収穫時圃場情報を製品ラベルへ印刷できることを確認した。ラベルプリンタはバッテリー駆動により、屋外環境下で印刷可能であった。しかしながら防塵、防水機能等は有して

いないため、長期の使用には対策が必要となると考えられた。なお、ラベルプリンタと HT は無線 LAN で接続されており、見通しが良い場合は 100m 程度離れていても印刷操作が可能であった。



注) 白抜き枠は記入項目。灰色枠はHTからの転送項目を示す。

図13. 事務所 PC のデータベース画面



1) 収穫作業者は情報入力シートの該当項目をチェック。
 バールラップ作業者はチェック項目の QR コードを HT で読み取る。

図12. 生産履歴管理システム操作手法の概略

2.4 生産現場におけるシステムの運用試験

2.4.1 調査方法

土地利用型農業法人（三重県鈴鹿市）において、飼料用コムギ収穫時（2011年5月24～25日、30a区画圃場（30m×100m）、3筆）に生産履歴管理システムの情報入力管理と製品ラベル印刷およびロールベールへの貼付けを実施し、システムの実用性の評価および改良点の抽出を行った。

運用試験を行った農業法人では、ロールベールを未ラップの状態ですトックヤード等の保管場所に輸送してから密封していた。収穫調製では、ロールベール梱包後に圃場で密封し、その後に搬送する体系が多い。しかし、その体系では専用収穫機の作業能率に比べ、自走式ベールラップの作業能率が低い⁶²⁾ため収穫作業の効率が低下してしまうことや、圃場から搬送する際に生じるロールベールの変形やフィルムの破損の低減が課題となっている。未ラップ状態で輸送し保管場所で密封する体系は、収穫作業の効率が高く、密封後のハンドリング回数を減らせることから、近年取り組みが増えつつある。

運用試験における収穫調製作業は以下の通りである（図14）。まず、(1) 収穫作業前に収穫作業者が、情報入力シートの収穫圃場の状態欄にチェックを入れる。次に(2) コンバイン型専用収穫機（WB1000、タカキタ、名張市）により、飼料ムギを収穫、ロールベール梱包する。次に(3) フロントローダ付トラクタを改造したベールハンドラにより、収穫機から直接ロールベールを受け、圃場にロールベールを置くことなく農道まで搬送する。次に(4) フォークリフトにより、農道上のロールベールを運搬車（ダンプトラック）に搭載（1回の輸送個数5個）。次に(5) 収穫作業からロール運

搬者に情報入力シートを手渡す。次に(6) 運搬車によりロールベールを保管場所まで輸送し、ダンプ機能によりロールベールを降ろす。次に(7) ロール運搬車からベールラップ作業者に情報入力シートを手渡す。ベールラップ作業者は情報入力シートのチェック項目をHTにより入力する。次に(8) 自走式ベールラップ（SW1100、タカキタ、名張市）により、ラップフィルムで密封する。次に(9) クランプ式アタッチメントを装着したフォークリフトによりロールベールを2段積み保管する。最後に(10) ベールラップ作業者は製品ラベルを作成し、ロールベールに製品ラベルを貼付ける。

上記は作業員5名による組体系で、(8) から(10) は同一作業員が兼務していた。なお、飼料イネと飼料用コムギの収穫作業体系は同一であった。生産履歴管理システムの運用作業は(1)、(5)、(7) および(10) であった。収穫機、運搬車およびベールラップ（ベールクラブによる2段積み保管作業を含む）の作業における生産履歴管理システム操作や製品ラベル貼付けにかかる所要時間を測定し、収穫調製作業に占める割合を算出した。圃場により保管場所までの距離および輸送時間は異なることから、本検討ではダンプトラックによる輸送時間は除外した。また、作業性の検討で用いた製品ラベルのQRコードはダミー情報で、製品ラベルに記載されている文字情報（収穫日、生産者名、品種名等）は反映されていない（図11）。

2.4.2 結果および考察

運用試験の結果、各作業員（収穫機、運搬車、ベールラップおよびフォークリフト）が担うそれぞれの作業時間に占める生産履歴管理の作業時間の割合を表2に示す。収穫機の作業員が3.3%、運搬車の作業員が3.9%、ベールラップ作業員の負担が最も大きく8.2%で

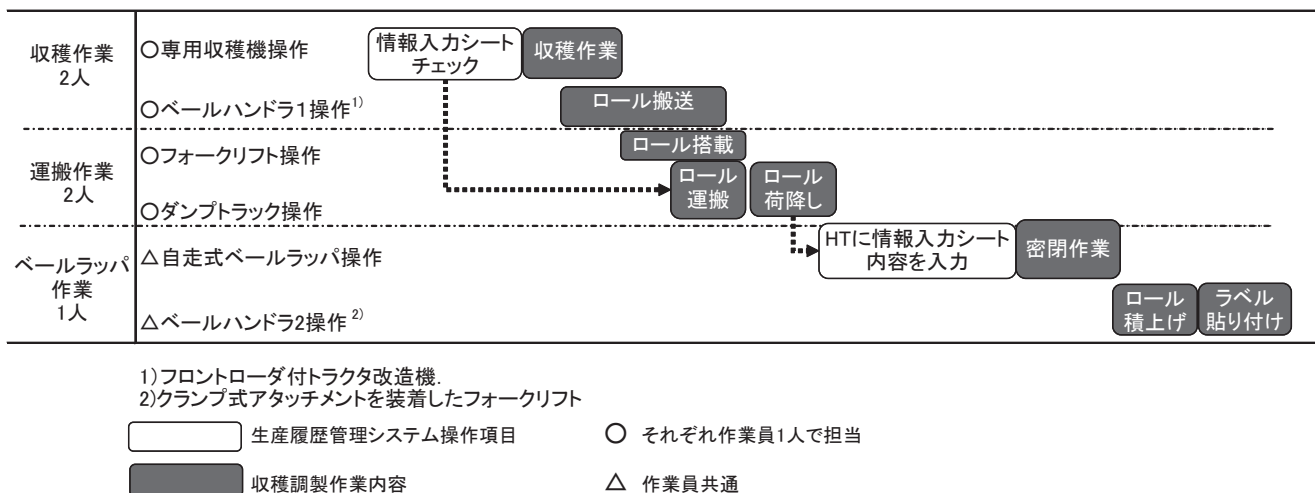


図 14. 収穫調製作業フロー

あり、全作業に対しては5.4%であった。

収穫作業において、自走式ベールラップ自体の作業能率が低く⁶²⁾、ハンドラによるロールベール積上げ作業も兼ねているため、ベールラップ作業者の作業所要時間は長い(表2)。加えてベールラップ作業者はHTへの入力操作、ラベルプリンタで印刷した製品ラベルを持ってロールベールの場所に移動し製品ラベルを貼付ける作業を担っており、収穫機や運搬車の作業者に比べ作業負担が大きくなると考えられる(表3)。

既にラベル管理手法を実施している場合、ベールラップ作業者は製品ラベル貼付け、マーク等による管理情報の記載作業を負担していると考えられる。その場合、製品ラベルの貼付け作業に要する時間は、本システムによる製品ラベルの貼付け作業時間とほぼ同等と考えられた。そのため、生産履歴管理システム導入による作業負担の増加は、既にラベル管理手法を実施している現場では、現在ラベル管理を実施していない現場が導入した場合に比べて少なく、製品ラベル印刷作業に相当する2.5%程の負担増と考えられた(表3)。

情報入力シートに記載されているQRコードをHTで読み取る時間は、1項目あたり1.6秒と短く、HTによるQRコードの読取作業における誤操作は認められなかった。このように情報入力シートを用いた場合、HTのキー操作の煩雑さを回避できるとともに、短時間で情

報入力可能であった。また、作業への聞き取り調査においても、HTによる読取作業は大きな負担にならないとの意見が得られた。

運用試験の収穫調製体系では、圃場と保管場所が離れており、作業も異なることから、収穫時圃場情報の伝達が課題となっていたが、情報入力シートの受け渡し方式は有用と考えられた。また、情報入力シートは作業後に事務所で保管し、労務管理書類として利用できるとの意見も得られた。

2.5 ラベル紙の耐久性

2.5.1 調査方法

物流業界でラベル印刷に広く用いられている感熱方式プリンタは低消費電力であるが、感熱紙は屋外環境では紫外線等の影響で劣化が激しい⁵¹⁾。予備的に、感熱紙ラベルをロールベールに貼付けたところ、数週間で印刷された内容が識別不能となった。ロールベールの製品ラベル管理を実践している生産組織では、レーザープリンタ用の耐水性ラベル紙が用いられていたが、屋外環境下では耐水性ラベル紙も縮みや印刷の剥がれ等の劣化が生じる。また、レーザープリンタは消費電力が高く、屋外環境下での使用は困難である。

そこで選定した熱転写方式のラベルプリンタに対応し、開発目標(3)を満たすラベル紙として、耐光紙(ユ

表2. 収穫調製における生産履歴管理システムの操作時間

	収穫機作業	運搬車作業	ベールラップ作業	合計
作業全体の所要時間(分/30a)	54.9	33.7	62.3	150.9
生産履歴管理システムの操作時間(分/30a)	1.8 ¹⁾	1.3 ²⁾	5.1 ³⁾	8.2
生産履歴管理システム操作の作業時間に占める割合(%)	3.3	3.9	8.2	5.4

ロールベールは、1圃場(30a)あたり平均18個調製。運搬車の搭載個数は5個/回。

¹⁾ 収穫機作業者の情報入力シートのチェック(収穫期の熟度、圃場の状態、乳酸菌等の有無等)作業。

²⁾ 運搬車作業者の情報入力シートを収穫機作業者から受け取り、ベールラップ作業者へ手渡す作業。

³⁾ ベールラップ作業者の情報入力シートの受け取り、チェック(ラップフィルム巻き数等)、ハンディターミナルへの情報入力シートの読み込み作業、ラベル貼付け作業。

表3. ベールラップ作業者の生産履歴管理システムの操作時間

ベールラップの作業				ハンドラの作業		ラベルの作成作業			ラベル貼り付け作業			ラベル作成と貼り付け作業の合計	
積載	密封	荷降ろし	小計	荷積み		HT 読取	印字	小計	作業移動	ラベル貼り付け	小計	作業の合計	
(分/圃場)				(分/圃場)		(分/シート)	(分/18枚)		(分/回)	(分/18個)		(分/圃場)	(分/圃場)
5.8	23.0	6.8	35.6 (57.2)	21.6 (34.7)		1.1	0.5	1.6 (2.5)	1.5	2.0	3.5 (5.6)	5.1 (8.1)	62.3

注) 対象作物は小麦、1圃場(30a)当たりの梱包個数は18個、1回の輸送個数は5個(2tダンプ)である。

ハンディターミナル(HT)の読取は1圃場(1シート)当たり1回である。

作業者の移動は、ロールベールとプリンタ間の往復移動時間を示す(徒歩にて移動)。

()内の数値はストックヤードでの作業全体の各作業の割合を示す。

ポ VES85, 東芝テック社, 東京都) と耐水耐光性紙 (アート 73, 東芝テック社, 東京都) の 2 種類を用いて耐久性試験を行った。それぞれのラベル紙に調製日時, 品種等の情報を印刷し, 3 個のロールペール (内容物: 飼料イネ, 直径 100cm, 高さ 90cm) の側面の 4 方向 (東西南北) に計 12 枚貼付けた。貼付け直後, 1, 2, 3, 6, 9 および 12 ヶ月経過後に目視による製品ラベル情報の確認と, HT による製品ラベルの識別を行った。耐久性試験は, 平地 (畜産草地研究所那須研究拠点, 標高約 330m) と高地 (同御代田研究拠点, 標高約 1000m) の 2 か所で実施した (貼付け日 2010 年 8 月 10 日)。

2.5.2 結果および考察

ラベル紙の耐久性試験では, 目視によるラベル情報の確認と, HT によるラベルの QR コードの識別を行った。供試した 2 種類のラベル紙は, 1 年間経過後もロールペールから剥がれ落ちることはなかった。しかしながら, 耐光性ラベルは 3 ヶ月以降になるとラベル紙印刷面の劣化が激しく, 目視による文字情報および HT による QR コードの読取が困難となった (図 15, 図 16)。一方, 耐水耐光性ラベル紙は, 1 年間経過後も目視による読取は 100%, QR コードについても, 95% 以上読取を行うことができた (図 15, 図 16)。読取に失敗した製品ラベルでは QR コード印刷面の傷による欠損が原因と考えられた。特に利用現場においては, ロールペールは保管場所から畜産農家へ複数回輸送されることから, ハンドリング作業等でラベル印刷面が欠損することが懸念される。このことから, 製品ラベルは文字情報と QR コードを両方印刷することが必要と考えられる。製品ラベルの目視と QR コードの識別率において, 平地と高地の 2 試験地で差はみられず, またラベル紙の貼付け方向 (東西南北) による差もみられなかった。

以上, 選定したラベルプリンタと耐水耐光性ラベル紙を使用することにより, 開発目標 (2), (3) は達成された。

2.6 結言

本章での試験により, 以下のことが明らかになった。

- (1) データベースにより, 圃場台帳, 栽培履歴情報, 収穫時圃場情報を一元的に管理することが可能となった。
- (2) 生産履歴管理システムにより, 収穫時圃場情報を反映させたロールペール用の製品ラベルを, 圃場で印刷して, ロールペールに貼付けることが可能となった。
- (3) 選定したラベル紙は, 屋外環境下で 1 年経過したロールペールにおいて, 剥がれることなく印刷情報を識別できた。
- (4) 生産履歴管理システムの操作に要する時間は収穫

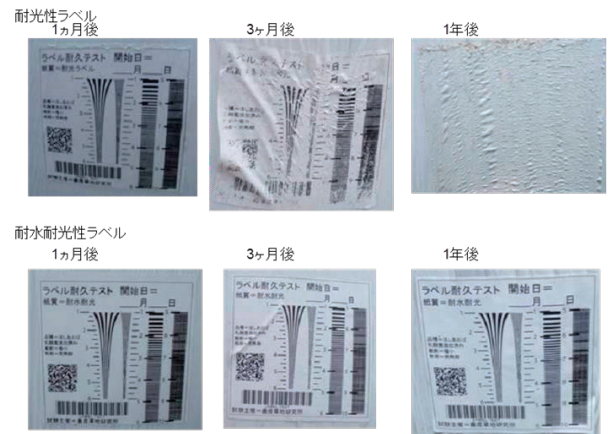


図 15. 耐光性および耐水耐光性ラベル紙の経時変化

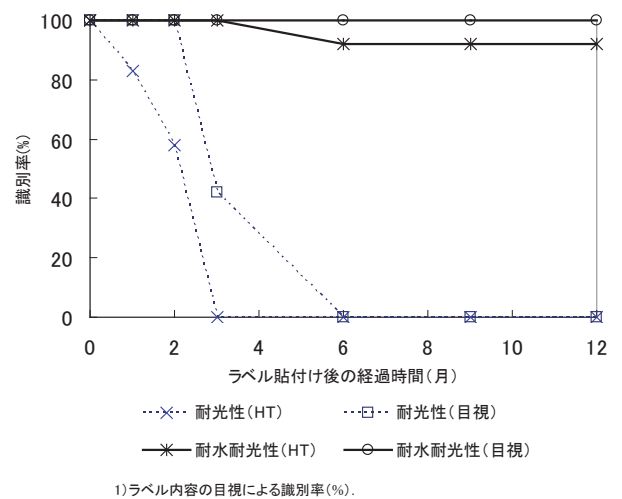


図 16. 耐光性および耐水耐光性ラベル紙の識別率の変化

調製作業時間の約 5% で, 作業者に大きな負担をかけることなく, HT による生産履歴情報の記録管理が可能であった。

第 3 章 ロールペール質量計測手法の開発

3.1 緒言

ロールペールの流通は, これまで圃場面積やロールペール個数での取引が中心であったが, 今後は流通飼料として, 輸入乾草や配合飼料と同様の品質が求められると想定される。流通基準では, ロールペールの平均質量を推奨項目のひとつとしており, 原則として同日に同一条件で収穫されたロールペールを同一ロットとみなし, その中から 3 点以上を抽出し計量することが推奨されている²⁸⁾。しかし, ロールペールの計量には, ベールグリッパ等の重機, 秤, 作業人員等を要するため, 生産現場において, ロールペール計量はほとんど実施されていないのが現状である。

また、ロールベールのサイズは機種ごとに異なり、同一機種、同一圃場や同一条件で収穫調製されたロールベールでもその質量には5～10%程度の差が生じる(表4)(浦川, 未公表)。飼料イネの流通を円滑に行うためには、個々のロールベールの質量を簡易に計量する手法の開発が必要とされている。

現在、ロールベールの計量方法としては、吊り下げ秤に吊り具で懸架して秤量(図17(a))、ベールグラブ等の重機で台秤に載せて秤量(図17(b))およびトラックスケールによる秤量などがあるが、収穫作業時に計量するためには、ベールグリッパ等の機材と作業人員が必要で、多大な労力を要する。そのため生産現場では、個々のロールベールの計量はほとんど実施されていないのが実態である。飼料イネの収穫調製で用いられている機材(ロールベアラ、ベールラッパ等)にロールベール計量機能を搭載できれば、計量のためのベールグリッパ等の機材や人員を増やさずに収穫作業時にロールベールの質量を省力的に計量可能と考えられる。これまで作業機を用いた計量技術として、トラクタのフロントローダ駆動油圧の圧力値を解析し、荷重を推定する手法⁴⁵⁾や、ベールグリッパを装着したフロントローダ駆動油圧を利用した海外製計量装置の利用²⁵⁾の報告から、油圧を用いた質量計測の有用性が示されている。そこで本研究では、飼料イネの収穫調製で普及している自走式ベールラッパをベースに、油圧センサを用いた計量機構を試作し、その精度を検討した。



(a) 吊り下げ秤による計量事例

(b) 台秤による計量事例

図17. ロールベールの計量事例

表4. 供試ロールベールの平均質量と標準偏差の事例

		平均重量	標準偏差	個数
専用収穫機(コンバイン型)	WCS	267.5	34.0	30
	飼料ムギ	278.9	28.4	44
汎用型収穫機	WCS	346.1	18.4	6
専用収穫機(細断)	WCS	276.4	12.8	46
細断ベアラ	TMR(コンプリート)	333.4	17.4	23
	TMR(セミコン)	281.4	7.7	12
フレコンバッグ	TMR(コンプリート)	429.9	1.2	10
	TMR(セミコン)	412.6	1.3	10

3.2 ロールベール計量装置の開発目標

自走式ベールラッパを用いる計量機構の開発目標を以下に示す、まず(1)自走式ベールラッパによる一連の作業の間にロールベールを計量可能とする。次に(2)自走式ベールラッパの油圧配管に油圧センサを設置し、ロールベールの質量を計量可能とする。フレーム等の追加加工や油圧センサ以外のセンサの設置は必要としない。最後に(3)直径約1m、質量250～350kgのロールベールを対象とすること。

3.3 油圧センサを用いた計量手法の検討

3.3.1 計量装置

自走式ベールラッパ(SW1000, タカキタ, 名張市)の油圧系統は、ロールベールの積込み用のリフトアーム、ラップフィルムを巻き付けるためのターンテーブル機構、ロールベールの積載とロールベールの荷降ろしに用いられているターンテーブルのダンプ機構、軽トラック等の荷台への積込み時にターンテーブルを昇降させるリフト機構の4系統が用いられている⁶²⁾。

各油圧機構の作業時の油圧の圧力値(以下、圧力値)とロールベールの質量との関係を調査したところ、リフト機構のターンテーブル持ち上げ時の圧力値とロールベールの質量との相関性が最も高かったため、これを指標とすることとした(図18)。リフト機構の圧力値を計測するため、リフト機構駆動油圧シリンダ(内径25mm、ストローク長350mm)の配管にT型ジョイントを介し油圧センサ(AP-15S, キーエンス, 大阪市)を接続した。油圧センサの定格は20MPaであり、油圧センサの測定値はアンペア単位(AP-V80, キーエンス, 大阪市)を介しデータロガ(GL-900, グラフテック, 横浜市)に電圧値(圧力値0～20MPaを1～5Vに変換)として記録した。

3.3.2 ロールベール計量手法

計量装置による測定の方法・条件は以下の通りとした。まず(1)供試ロールベールをターンテーブル中央に載

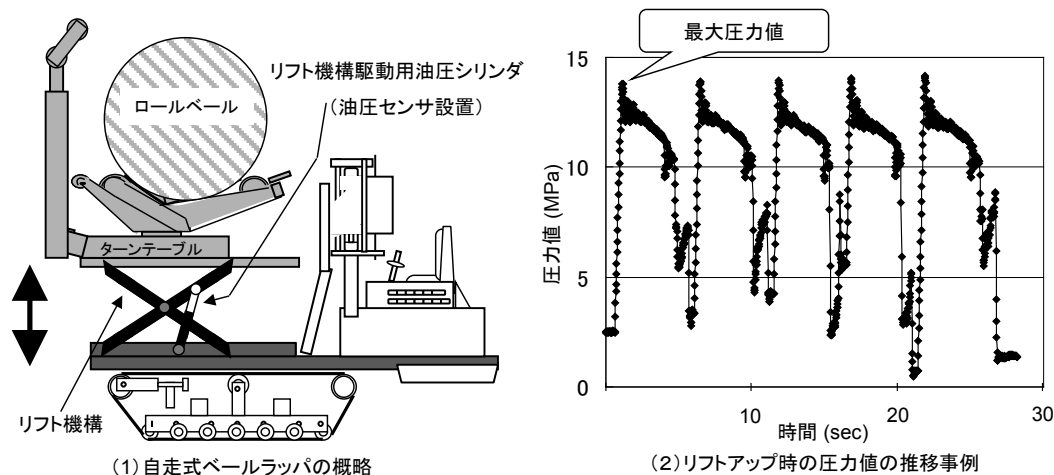


図 18. 自走式ベールラップによるロールベール計量手法の概略

せた状態でリフト機構を5回昇降させて圧力値を記録する。その際のターンテーブルの昇降高さは約20cmとした。次に(2) データログのサンプリング速度は20msec(50Hz)とした。次に(3) 自走式ベールラップのアクセル開度は最小および最大の2通りで計測した。次に(4) 測定は屋内の平坦な場所で実施した。次に(5) 油温を一定とするため30分以上暖機後に計測した。最後に(6) 自走式ベールラップにロールベールを載せない状態で、ターンテーブルを昇降させた場合の圧力値をロールベールの質量0kgの測定値とした。

供試したロールベールは、飼料用イネ(品種コシヒカリ)を細断型ホールクropp収穫機(WB1020, タカキタ, 名張市)により、2010年9月5日に長野県佐久市の圃場にて収穫調製したものである。供試ロールベール46点の実質量は平均276kgで最小250kg, 最大336kg, 標準偏差12.8kgであった。なお, ロールベールの実質量は吊り下げ秤(HS-VD 最大秤量2t, クボタ, 大阪市)に吊りベルトでロールベールを懸架して秤量した。

3.3.3 結果および考察

開発した計量装置は油圧センサ, T字型ジョイント, 油圧センサ用アンプおよびデータログで構成され, これらは自走式ベールラップの油圧バルブ配管に簡易に取付け可能な構造とした。自走式ベールラップの油圧ユニットはエンジンにより駆動されることから, 圧力値はエンジン回転数により変化する傾向を示した。供試ロールベールを載せたターンテーブルを昇降させた場合の最大圧力値は, アクセル開度最小で14MPa程度, 最大で16MPa程度と約10%増大した。また, ロールベールを載せない場合の最大圧力値は, アクセル開度最小で8.7MPa, 最大で10MPaであった。そのため, ロールベールの質量計測時には, 自走式ベールラップのアクセル開

度を揃える必要性が認められた。供試ロールベールを載せたターンテーブルを5回昇降させる所要時間は, 自走式ベールラップのアクセル開度が最小では30秒, 最大では20秒であった。

3.4 ロールベールの質量推定

3.4.1 質量推定方法

ターンテーブル昇降時のリフト機構の圧力値の推移を調査したところ, 圧力値はターンテーブル持ち上げ直後に最大値を記録し, そのまま漸減する傾向を示した(図18)。複数回昇降した際の圧力値の推移と最大値はほぼ同じであった。そこで昇降時の各回の圧力値の最大値を P_k とし, 昇降操作5回の平均を最大圧力値 P_{max} とし, 質量推定の指標とした。

$$P_{max} = \frac{\sum_{k=1}^5 P_k}{5} \quad (3-1)$$

実質量を計測し, 最大圧力値を求めた供試ロールベール46点と, ロールベールを載せないときの最大圧力値の計47点を推定式の作成用25点(推定式算出用データ)および推定式の精度検定用22点(精度評価用データ)に分けて質量推定を行った。

抽出は無作為に行ったが, 推定式算出用データには, ロールベールの質量が最小と最大とロールベール無しのものを含めることとした。最初に, 推定式算出用データの最大圧力値 P_{max} (MPa)と実質量 M (kg)を線形近似し, ロールベールの質量の推定式($M = aP_{max} + b$)を算出した。次に得られた推定式に, 精度評価用データの最大圧力値 P_{max} を代入して推定質量 M_s を算出し, 実質量 M と比較して推定精度を評価した。評価は以下の2方式とした。

(1) 推定質量と実質量の比による評価

$$\eta = M_s/M \times 100 (\%) \quad (3-2)$$

(2) 推定質量と実質量の差の絶対値による評価

$$\varepsilon = |M_s - M| (\text{kg}) \quad (3-3)$$

なお、推定式算出用データと推定精度評価データの抽出作業は5回繰り返し、推定式のパラメータと推定精度の評価は5回の平均値を用いた。

3.4.2 結果および考察

推定式算出用データの最大圧力値 P_{max} (MPa) と実質量 M (kg) を用いて、ロールベールの質量推定式を算出した。

$$\text{アクセル開度最小: } M = 54.7P_{max} - 480.0, \quad r = 0.984 \quad (3-4)$$

$$\text{アクセル開度最大: } M = 47.7P_{max} - 479.7, \quad r = 0.970 \quad (3-5)$$

推定式の相関係数 r は高く、また推定式のパラメータのばらつきは小さかった。精度評価用データの最大圧力値を推定式に当てはめて、推定精度を検証した結果、推定質量と実質量の比 η は、アクセル開度最小では 92.6 ~ 105.3%、標準偏差 3.4%、平均 99.9% で、アクセル開度最大では 94.6 ~ 107.3%、標準偏差 2.8%、平均 99.7% と高精度で推定できた (図 19)。推定質量と実質量の差の絶対値 ε は、アクセル開度最小では最大 21.0kg、最小 0.2kg、平均 7.6kg で、アクセル開度最大では最大 21.5kg、最小 2.3kg、平均 8.0kg であった。誤差範囲は $\pm 21\text{kg}$ と大きいものの、誤差平均は 8kg 程度と目標誤差である 10kg 以下となった。

ロールベールの計量の精度は、アクセル開度を一定とすることで安定する傾向が示された。収穫作業時は自走式ベールラップのアクセル開度は最大で作業されることから、アクセル開度最大で計量することが望ましいと考

えられた。

3.5 結言

本章での試験により、以下のことが明らかになった。

(1) 油圧センサを用いた計量手法は当初設定した開発目標を満たし、ロールベールの質量推定手法として有用であることが示された。

(2) アクセル開度最大と最小で、ほぼ同様の精度での推定が可能であったが、最大圧力値はアクセル開度により異なっていた。収穫作業時には自走式ベールラップのアクセル開度は最大で作業されることから、計量作業はアクセル開度最大で行うこととした。

(3) 本手法では、データログに記録した圧力値を解析して最大圧力値を求める必要があり、その場で質量を推定することができない。最大圧力値を解析し質量の計算が可能な車載型計量装置の開発が必要である。

第4章 ロールベール計量装置の開発

4.1 緒言

第3章では、自走式ベールラップのターンテーブルの駆動系の油圧配管に油圧センサを設置し、その計測値を用いたロールベール質量推定手法について検討した。しかし、解析の指標としたターンテーブル持ち上げ時の最大圧力値は、圧力値の推移をデータログに記録し、最大圧力値を解析してから推定式により推定質量を算出するため、推定質量を現場で表示するにはいたっていない。また、ロールベールの計量作業は、屋内での測定にとどまり、実際の収穫作業に供しての評価は未検討である。そこで収穫圃場でロールベールを計量可能な自走式ベールラップ車載式のロールベール計量装置を開発する。

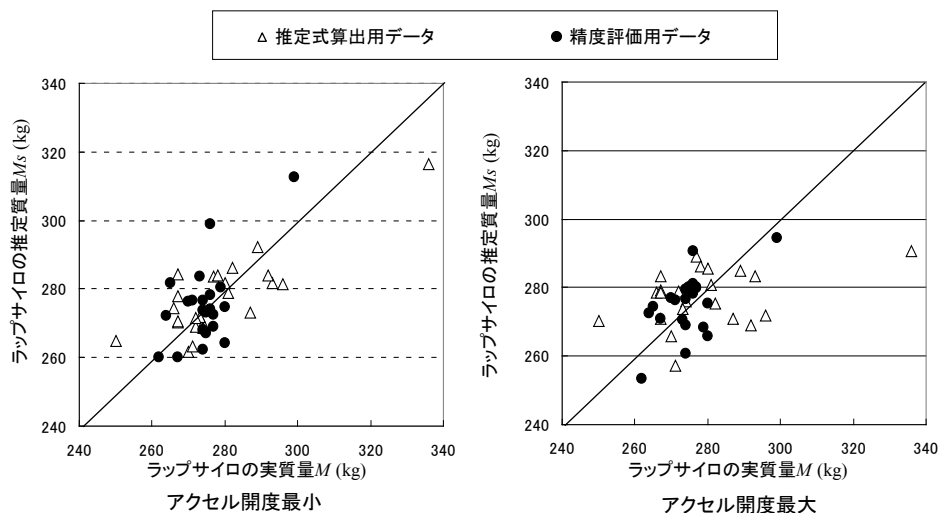


図 19. ロールベールの実質量と推定質量の相関

4.2 計量装置の開発目標

計量装置の目標を以下に示す。まず(1)自走式ベールラッパによる一連の作業時に、自走式ベールラッパのみでロールベールの質量を計量し、従来と変わらぬ作業効率で計量すること。次に(2)計量装置は、自走式ベールラッパ市販機に特別な改造を必要とせずに設置可能であること。(3)直径1m, 最大質量350kg程度のロールベールを対象とすること。

4.3 自走式ベールラッパ用計量装置

計量装置は、油圧センサ、質量表示機および油温度センサからなる。自走式ベールラッパのターンテーブルのリフト機構配管にT型ジョイントを介し油圧センサ(AP-15S, キーエンス, 大阪市)を接続し、ターンテーブルを昇降させた際の最大圧力値 P_{max} (MPa)から直線回帰式により質量を推定した(表5, 図20)。質量表示機は圧力値を測定間隔20msec(50Hz)より短い間隔でAD変換し、 P_{max} を算出する仕様とした。

質量表示機はスタート、リセット、ゼロ校正の3種類のボタンを有し、計量時に P_{max} とロールベールの推定質量値 M_s (kg)を表示する。また、自走式ベールラッパのリフト機構の配管にT型ジョイントを介して温度セ

表5. ロールベール計量装置の構成

自走式ベールラッパ	タカキタ SW1000 (屋内試験) タカキタ SW1010W (圃場試験)
油圧センサ	キーエンス社 AP-15S 定格: 20Mpa
油圧センサアンプ	キーエンス社 APV-80
質量表示機	H8/3068 H8-OS
電源部	自走式ベールラッパバッテリー 安定化電源 MSC-121215R 入力電圧 10-15V 出力 12V
油温度センサ	SP 武川 LCD サーモメータ

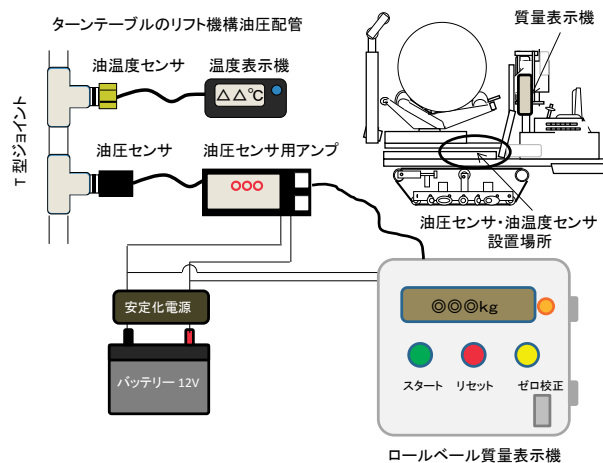


図20. ロールベール計量装置の概略

ンサ(LCDサーモメータPT1/8センサタイプ, SP武川, 富田林市)を接続し、計量作業時の作動油の温度 t ($^{\circ}\text{C}$)を記録した。これらロールベール計量装置の機器(油圧センサ, 質量表示機)には、自走式ベールラッパのバッテリー(12V)から安定化電源(MSC-121215R, デンシ電気, 東京都)を介して給電し、収穫調製時に自走式ベールラッパのみでロールベールを計量可能とした。

4.4 屋内における運用試験

開発した計量装置を自走式ベールラッパに装着し以下の検討を行った。

4.4.1 測定手法の検討

測定手法として、計量作業時に P_{max} となるターンテーブルの持ち上げ高さを検討した。自走式ベールラッパ(SW1000, タカキタ, 名張市)にロールベールを載せた状態でターンテーブルを昇降させて、リフト機構の圧力値と、ターンテーブルの持ち上げ高さをデータログ(GL-900, グラフテック, 横浜市)に記録した。ターンテーブルの持ち上げ高さは、ターンテーブル部に装着した超音波センサ(FW-H02, キーエンス, 大阪市)で測定した床面との距離から算出した。

4.4.2 計量範囲の検討

計量装置による計量範囲として、第3章での飼料イネのロールベールの質量は $270\text{kg} \pm 40\text{kg}$ 程度と軽かったことから、より重い 350kg 程度のロールベールを対象とした計量精度の検証を行った。そこで実験室内にて、自走式ベールラッパ(SW1000)のターンテーブル部に鋼材等を用いたウエイトやロールベール(無加重から 350kg まで25点)を用いて計量試験を行った。

4.4.3 質量推定手法の検討

計量装置による質量推定を行うための質量推定式の作成手法について検討した。第3章と同様に、4.4.2で測定した25点の P_{max} と M から、最小質量 0kg と最大質量 370kg を含む計10点を無作為に推定式算出用に出して直線回帰式により推定式を算出し、残りの15点を精度評価用として直線回帰分析⁵⁶⁾を行った。この検討を5回繰り返し、その平均値を推定式のパラメータとして推定精度の評価を検討した。

4.4.4 結果および考察

4.4.4.1 測定手法の検討

自走式ベールラッパのターンテーブルを持ち上げた際に、ターンテーブル持ち上げ直後に P_{max} を記録した(図21)。そこで計量時は、リフト機構によりターンテーブルを20cm持ち上げ(持ち上げ時間約2秒)、その間に得られた P_{max} に基づきロールベール質量を推定するこ

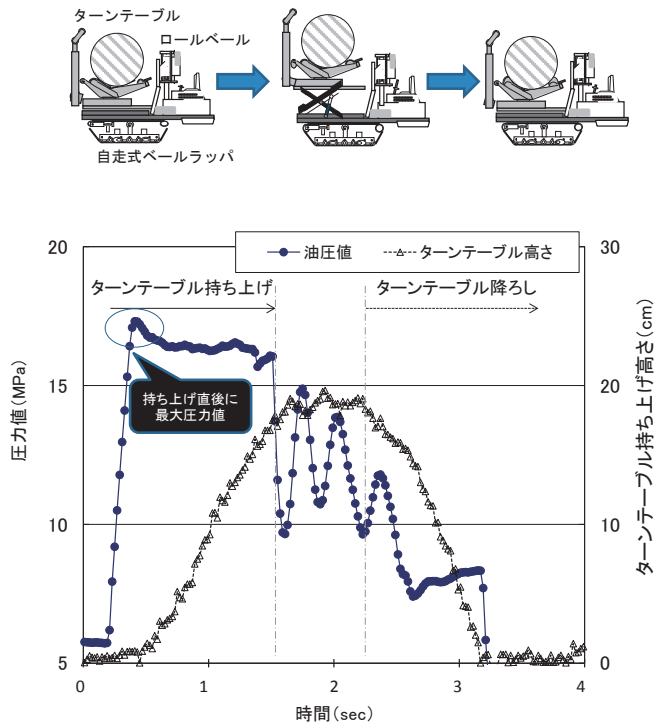


図 21. 計量時の圧力値と持ち上げ高さの関係 (自走式ベールラッパ SW1000 にて実施)

ととした。

4.4.4.2 計量範囲の検討

自走式ベールラッパのターンテーブル部に 0～350kg の錘を載せて、計量装置により P_{max} を測定し、全データを単回帰式した結果

$$M = 55.26P_{max} - 485.7, \quad r = 0.997 \quad (4-1)$$

の結果が得られた。このことから、計量装置により P_{max} を指標としたロールベール計量が可能と考えられた。また 0～350kg までの質量に対し P_{max} は線形性を示すことが確認された (図 22)。

4.4.4.3 質量推定手法の検討

図 22 で示した質量と P_{max} から、最小質量 0kg と最大質量 370kg を含む計 10 点を無作為に選択し質量推定式用とし、残りを精度評価用とした。質量推定式用データから、下記の質量推定式を作成した。

$$M_s = 54.2P_{max} - 470.5, \quad r = 0.995 \quad (4-2)$$

(4-2) は (4-1) とほぼ同様の傾向を示し、また精度評価用としたウエイト質量と推定質量を質量推定式 (4-2) から、単回帰分析⁴⁶⁾により比較した結果、 M_s と M の差 η (第 3 章 (3-2) 式) は平均 1.4kg、標準偏差 10.5kg、差の絶対値 ε (第 3 章 (3-3) 式) は平均 9.2kg、標準偏差 5.5kg となった (図 23)。これより、屋内の平坦な場所での測定結果ではあるものの、開発した計量装置は第 3 章と同様の質量推定精度が確認できた。なお屋内での計量時の自走式ベールラッパの作動油温度は 30

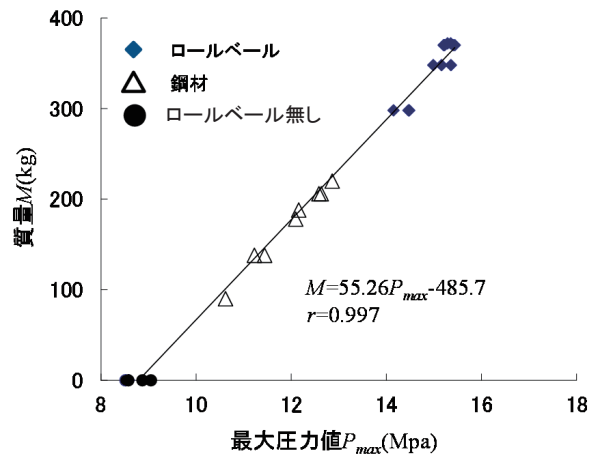


図 22. 最大圧力値 P_{max} と質量 M との関係 (自走式ベールラッパ SW1000 にて実施)

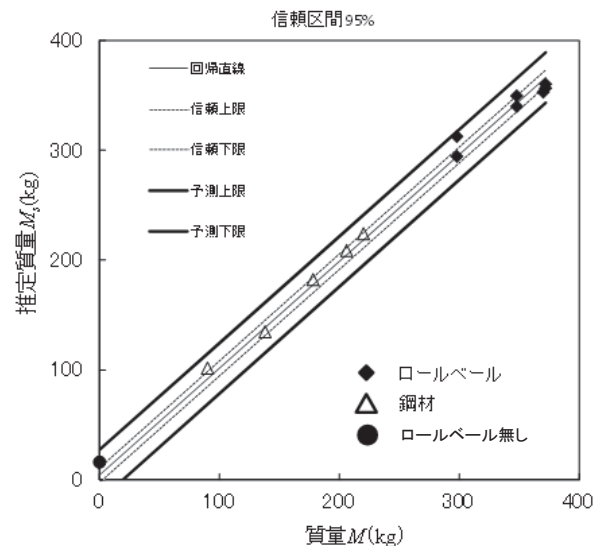


図 23. 屋内での質量表示機の精度評価結果 (自走式ベールラッパ SW1000 にて実施)

～42℃であった。

4.5 生産現場における運用試験

屋内試験の結果を踏まえ、次に土地利用型農業法人 (三重県鈴鹿市) 所有のコンバイン型専用収穫機 (WB1000 タカキタ, 名張市), 自走式ベールラッパ (SW1010W, タカキタ, 名張市) において、収穫された供試ロールベールを用いて計量試験を実施した。自走式ベールラッパに開発したロールベール計量装置を装着し、当該法人における通常の作業と同様に、舗装された平坦な場所において、自走式ベールラッパを水平な状態で停車させて計量作業を行った。

供試ロールベールは吊り下げ秤 (HS-CD-10, 最大秤量 1t, 目量 1kg, クボタ, 大阪市) を用いて、吊りベル

トをかけて重機で持ち上げて秤量した。

計量作業は以下の手順で行った。最初に (1) ロールベール無しの状態で、質量表示機のスタートボタンを押して、ターンテーブルのリフト機構を昇降させて計量し、その推定質量が表示されたら質量表示機のゼロ校正ボタンを押す。次に (2) ラッピング作業後に、自走式ベールラッパの操縦席から降りて、カッターナイフを用いてフィルムを切断し、再度操縦席に戻る。次に (3) ロールベールをターンテーブル中央に載せた状態で、質量表示機のスタートボタンを押してからターンテーブル部を20cm 昇降させる。計量後に質量表示機のリセットボタンを押す。最後に (4) 上記 (3) の計量作業を繰り返し、質量表示機の値と自走ベールラッパの作動油温度を記録する。

なお自走式ベールラッパは停車した状態で、エンジンのアクセル開度は最大として計量作業を行った。(1) のゼロ校正はエンジン始動時に1回実施した。(2) のラップフィルム切断については、梱包作業後にロールベールにラップフィルムが未切断の状態でターンテーブルを持ち上げると、ラップフィルムが伸長して負荷となりロールベール質量計測に影響を及ぼすため、計量作業前にラップフィルムを切断した。

屋外試験は、飼料ムギの収穫作業時(2012年5月23日)、飼料イネの収穫作業時(2012年9月26日)の2回実施した。供試ロールベールのうち、質量の推定式作成用に飼料ムギ20点(平均305kg, 最小236kg, 最大354kg, 標準偏差22kg)、稲わら乾草1点(103kg)を用いた。推定式の精度評価用には飼料イネ35点(平均243kg, 最小189kg, 最大274kg, 標準偏差15kg)を用いた。

4.6 計量回数の検討

4.6.1 計量回数の検討方法

自走式ベールラッパによる梱包作業は4分/個程度と、飼料イネ専用収穫機に比べ処理能力が低いことから、収穫調製作業の効率化には梱包作業時間の短縮が求められている⁵⁷⁾。本手法では、自走式ベールラッパの梱包作業に加えて、計量作業が加わるため、運用現場では計量時間の短縮が必要と考えられる。第3章では、計量作業は、ラップフィルム梱包済のロールベールを用いて、ターンテーブルを5回昇降させ、その作業には20～30秒を要した。そこで計量装置による測定回数(ターンテーブル昇降回数)が減少可能か検討することとした。具体的には、屋外試験での計量作業を5回実施した際の P_{max} を用いて、1回目だけの P_{max} と、1回目から3回目までの平均値と、1回目から5回目までの平均値とを比較し、

表6. 計量回数ごとの最大圧力値 P_{max} と質量 M との関係

	計量回数		
	1回	3回	5回
傾き $a^1)$	67.62	68.62	68.40
切片 $b^2)$	663.1	673.8	669.6
相関係数 $r^3)$	0.934	0.941	0.944
所要時間(秒)	5	15-20	20-30

^{1) 2) 3)} M と P_{max} とを直線回帰式($M=aP_{max}-b$)で直線回帰した際の傾きを a 、切片を b 、相関係数を r とする。

それぞれの P_{max} の変動と、 P_{max} と M の相関について検討した。また、計量作業の様子をビデオカメラで撮影し、それぞれの測定回数ごとの梱包作業時間を解析した。

4.6.2 結果および考察

供試ロールベール54点(飼料イネ34点、飼料ムギ20点)とロールベール無しの計55点での、ターンテーブル昇降時の P_{max} について、計量回数1回と、3回、5回における P_{max} の平均値を比較したところ、ロールベール質量との相関係数はいずれも0.93以上で、直線回帰式のパラメータもほぼ同値であった(表6)。なお1回だけの計量では、操作ミスが懸念されたため、計量回数は3回(所要時間15～20秒/個)とした。また、計量作業時のラップフィルム切断は約8秒/個であり、ロールベールの計量作業は30秒/個程度を要した。

4.7 生産現場での計量装置の計量精度評価

4.7.1 屋外での計量装置の計量精度評価

推定式作成用22点(飼料ムギ20点、稲わら乾草1点、無加重)の P_{max} (MPa)と M (kg)から直線回帰により、ロールベールの質量推定式を算出した。次に得られた推定式に精度評価用(飼料イネ36点)の P_{max} を代入して M_s を算出し、 M と M_s とを比較して推定精度を単回帰分析で評価した。

4.7.2 結果および考察

屋外での計量試験から計量回数3回の P_{max} と M により求めた質量推定式は式(4-3)のように算出された(図24)。

$$M_s = 108.7P_{max} - 1371, \quad r = 0.957 \quad (4-3)$$

次に式(4-3)により精度評価用とした飼料イネロールベールの P_{max} から算出した M_s と M を単回帰分析により比較した結果を図25に示す。 M_s と M の相関係数 r は0.952であった。 M_s と M は差 η の平均は-17.6kg、標準偏差は22.7kgで、差の絶対値 ε の平均は23.6kg、標準偏差16.2kgとなり、屋内試験よりも誤差が大きく、計量精度の改善が必要と考えられた。その要因として、屋内試験では自走式ベールラッパは停車状態であるが、

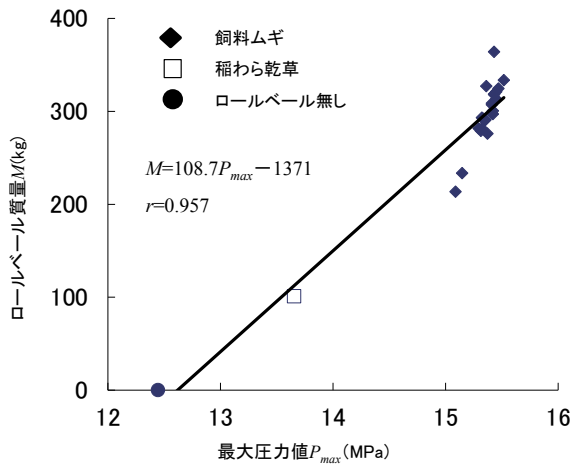


図24. 供試ロールベール（飼料ムギ、稲わら乾草）での最大圧力値 P_{max} とロールベール質量 M の関係（自走式ベールラップ SW1010W にて実施）

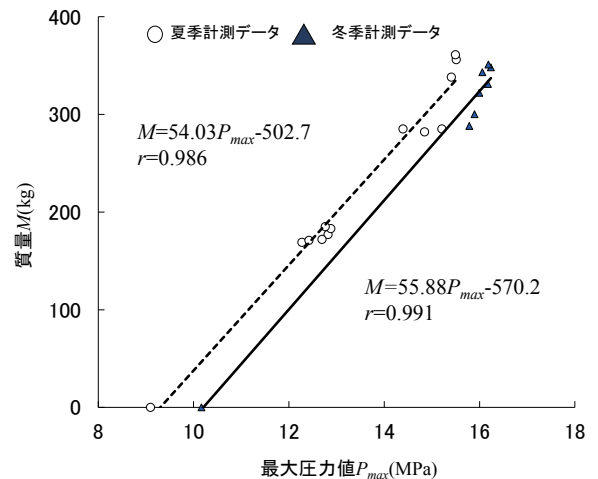


図26. 夏季と冬季における計量結果例（自走式ベールラップ SW1000 にて実施）

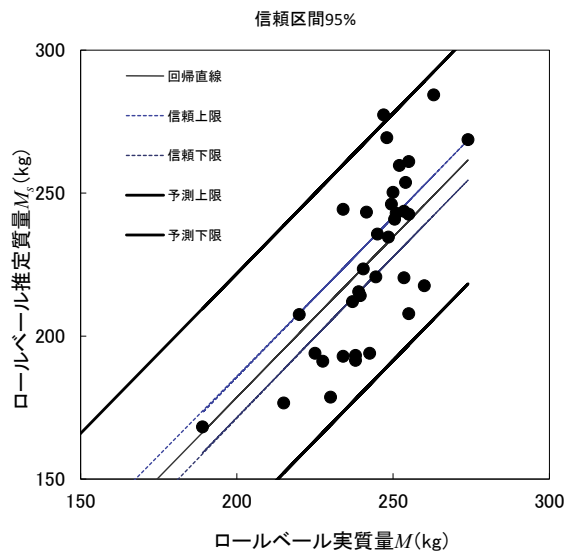


図25. 精度評価用供試ロールベール（飼料イネ）での実質量 M と推定質量 M_s の関係（自走式ベールラップ SW1010W にて実施）

屋外試験では梱包作業のために走行しており、作動油の温度が一定でなかった可能性が考えられたことから、次節にて油温度を指標とした補正手法を検討した。

4.8 油温度補正の検討

4.8.1 測定時の作動油温度の影響の検討

基礎試験として、屋内にて自走式ベールラップ (SW1000) で、計量試験を複数回実施したところ、夏季 (室温 30℃ 程度) に比べ冬季 (室温 5℃ 程度) において P_{max} が高い傾向が見られた (図26)。機器の条件は同じで、夏季、冬季のそれぞれの計量試験では、 P_{max} と M の相関が高い傾向を示したものの、全体では誤差が大きくなる傾向が見られた。

また、自走式ベールラップのターンテーブルにロールベール無しの状態で複数回計量を行い、その際の油温度と P_{max} の相関を検討した事例を図27に示す。図27に●で示した P_{max} は、作動油の温度 t (℃) の上昇に伴い低下する傾向が認められた。この傾向は図26と同様であり、計量時の作動油温度により、 P_{max} が変化する傾向が見られた。

自走式ベールラップで用いられている油圧は、エンジンで駆動される油圧ユニットから油圧配管に供給されている。作動油の動粘度 Z はパラメータ A , B により式4-3で近似される⁵⁾。

$$\log \log Z = A - B(273.15 + t) \quad (4-4)$$

自走式ベールラップの作動油 (粘度グレード VG68) では A および B はそれぞれ 11.10, 4.34 である (日本工業規格 JIS K 2283)。 P_{max} の変化の度合いは、図27に実線で示した式 (4-4) の Z と t の相関と同様の傾向を示した。作動油は低温時に粘性が大きく、温度上昇に従い粘性が低下することから、本手法における計量作業時の作動油の温度は、 P_{max} に影響を及ぼすと考えられた。

4.8.2 油温度補正の検討

質量計測の際の油温度による影響を低減させるため、油温度補正法を検討した。図27において、自走式ベールラップ作動油の Z と t の相関性と、ロールベール無しの状態での P_{max} と t の相関性から、 Z と P_{max} の関係は式 (4-5) に近似でき、両者の相関は高いことが示された。

$$P_{max} = 0.0074Z + 11.96, \quad r = 0.957 \quad (4-5)$$

式 (4-5) により、質量計測時の t における P_{max} を 40℃での P_{max} に補正值 (油補正最大圧力値 P_{max40}) は、 t における $Z(t)$ 、40℃での $Z(40)$ から以下のように表される。

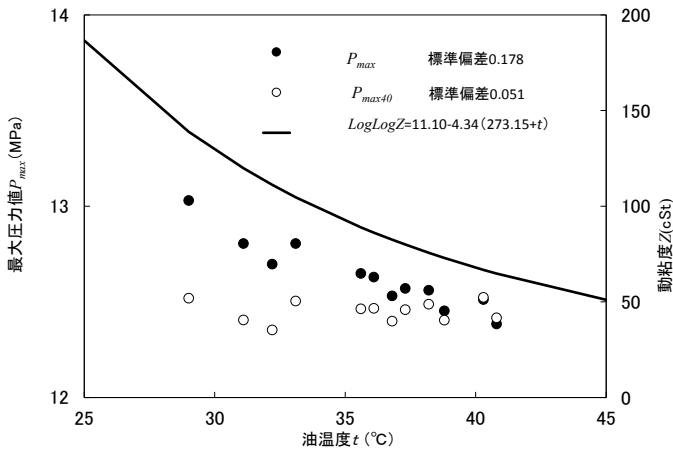


図 27. ロールベール無しで油温度 t の変化した際の計量結果事例 (自走式ベールラッパ SW1010W にて実施)

$$P_{max40} = P_{max} + 0.0074 (Z(40) - Z(t)) \quad (4-6)$$

式 (4-6) を用いて算出した P_{max40} (図 27 において○で示した) は P_{max} と比べ t が変化した場合でも安定する傾向を示し、 P_{max40} は P_{max} と比べ標準偏差が 0.178MPa から 0.051MPa と小さくなったことから、式 (4-6) による補正により計量時における t の違いが圧力値に及ぼす影響を低減できたと考えられた。

4.8.3 屋外試験の計測結果における油温度補正の検討

図 27 はロールベール無しでの t と P_{max} および P_{max40} との関係を示したものであるが、ロールベール計量の際にも式 (4-5) は適用可能と考え、図 25 で用いた屋外試験の結果と、計量作業時の t から P_{max40} を算出し、再度 P_{max40} と M の直線回帰式から油温度補正推定質量 M_{s40} を求め、 M と M_{s40} とを単回帰分析で比較した。また、 M_{s40} と M の差と、 M_s と M の差について頻度分布を用いて比較した。

4.8.4 結果および考察

供試ロールベールの計量時の自走式ベールラッパ作動油の温度は、推定式算出用において 26 ~ 53℃、精度評価用では 31 ~ 55℃であった。屋内試験では自走式ベールラッパはロールベール搭載と計量作業以外の作業をしておらず、作動油温度は 30 ~ 42℃であったのに対し、屋外作業時はロールベールの梱包や運搬作業により作動油温度が大きくばらついた。

式 (4-6) により、供試ロールベールの P_{max} と t から算出した P_{max40} と M から式 (4-7) の質量推定式が得られた。

$$M_{s40} = 104.5P_{max40} - 1305, \quad r = 0.953 \quad (4-7)$$

式 (4-7) により、精度評価用の P_{max40} から算出した

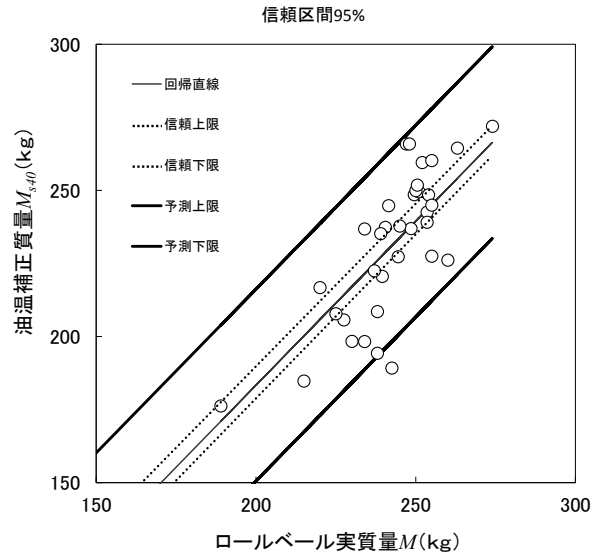


図 28. 実質量 M と油温度補正推定質量 M_{s40} との関係 (自走式ベールラッパ SW1010W にて実施)

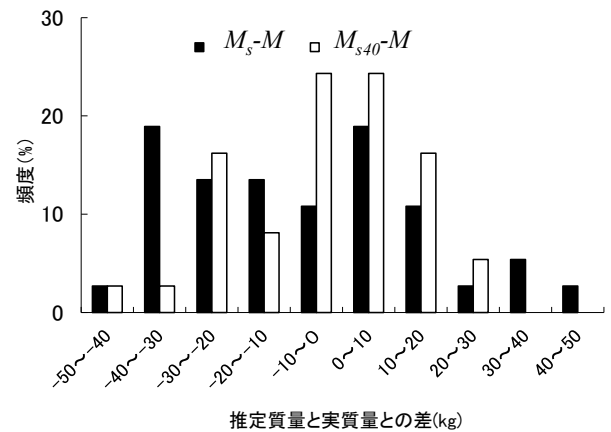


図 29. 推定質量と実質量の差の頻度分布

M_{s40} と M とを単回帰分析した結果を図 28 に示す。油温度補正により、 M_{s40} と M の差の平均は -5.8kg、標準偏差は 15.5kg、差の絶対値の平均 12.7kg、標準偏差 10.5kg となり、油温度補正により差が減少する傾向が認められた。また、 M_s と M の差と M_{s40} と M の差の頻度分布では、 M_{s40} と M の差の方が小さく、計量時の t の違いが P_{max} に影響を及ぼすことが示唆された (図 29)。しかしながら、油温度補正後も屋外試験での差は、屋内試験よりも大きい結果となり、油温度補正のみでは目標とした計量精度 $\pm 10\text{kg}$ を達成できなかった。その原因として、温度センサで計測した油温度が、計量作業時の実際の油温度と異なっていた可能性が考えられる。図 27 では連続してターンテーブルを昇降させた際のデータで、この場合昇降操作を繰り返すことで、油温度は上昇する傾向を示した。しかし収穫圃場での作業では計量作業時以外にはターンテーブル部は昇降

しないことから、昇降シリンダ内の油温度は低く、計量作業時に油圧ユニットから供給される油温度は高いことから、配管中の油温度は均一でなく、結果として温度補正の効果が限定的となっている可能性が考えられた。今回検証できていないが、自走式ベールラップの油圧ユニットの油タンク部に油温度計を設置することや、ターンテーブルリフトシリンダ付近に油温度計を設置することで、温度補正の効果を上げ、計量精度の改善が図れる可能性があると考えられる。

4.9 結言

本章での試験により、以下のことが明らかになった。

- (1) 計量装置を取り付けた自走式ベールラップにより、調製作業時に自走式ベールラップのみで、350kgまでのロールベールを所要時間30秒/個程度で計量することが可能である。
- (2) 屋内試験では、誤差平均10kg程度と第3章と同程度の計量精度が得られたものの、屋外試験での誤差平均は23.6kgで、ロールベール質量の10%程度と大きく、計量精度の改善が必要である。
- (3) 自走式ベールラップの油温度が計量値に及ぼす影響を考慮した補正により、屋外試験でのロールベールの質量の誤差平均は12.7kgに改善されたが、さらなる精度向上が必要である。

第5章 ロールベール計量精度向上技術の開発

5.1 緒言

第4章において、自走式ベールラップのターンテーブルの駆動系の油圧配管に油圧センサを設置し、ターンテーブル持ち上げ時の最大圧力値を指標とした質量推定手法について検討した。しかしながら、屋内での計量試験では±10kgの計量精度を確保できたものの、屋外試験では誤差が大きくなり、計量精度向上が課題であった。

既報の油圧を用いた重量物の計量手法として、トラクタのフロントローダに質量物を懸架して静止させた際の駆動シリンダ油圧と、フロントローダの角度から、荷重を推定する手法⁴⁵⁾や、市販油圧質量計を設置したロールベール用グラブ付トラクタにてロールベールを持ち上げ後、フロントローダ位置を一定にして、圧力値が安定した際の静的圧力値を指標として荷重を推定する手法²⁵⁾では、圧力値の指標として、第4章で用いた最大圧力値ではなく、荷重を静止させ安定した際の圧力値を利用している。同様の手法は、フォークリフト用の油圧式荷重計（白光機器、DLSN、加古川市）でも用いられ

ている。また、自走式ベールラップのターンテーブルのリフト機構と同様のパンタグラフ式のシザーズ構造を用いた油圧式質量計も市販化されている（北田スケール、テーブルリフト付秤、尼崎市）。

そこで、自走式ベールラップによる計量手法において、ターンテーブルを一定高さで静止後、安定した圧力値（静的圧力値）を指標とした計量手法について検討した。また、静的圧力値による計測手法に対応した自走式ベールラップ車載式のロールベール計量装置を開発し、屋外でロールベールの計量試験を行った。

5.2 計量装置の開発目標

計量装置の目標を以下のように設定した。まず(1)自走式ベールラップによる一連の作業時に、自走式ベールラップのみでロールベールの質量を計量し、従来と変わらぬ作業効率で計量すること。次に(2)直径1m、最大質量350kg程度のロールベールを対象とすること。最後に(3)計量精度は±10kg以内であること。

5.3 試作計量装置

5.3.1 静的圧力値による計量手法

計量装置は、油圧センサ、リミットスイッチ、質量表示機および油温度センサからなる（表7、図30）。自走式ベールラップのターンテーブルのリフト機構配管にT型ジョイントを介し油圧センサ（AP-15S、キーエンス、大阪市）を接続し、ターンテーブルが20cm持ち上がった際に作動するリミットスイッチと、その圧力値を取り込み、静的圧力値を解析し、ロールベール質量を推定する表示装置からなる。質量表示機はUSB/I/Oボードとノートパソコン（ハンファジャパン、VilivS5）からなり、ロールベール質量の解析プログラムはMicrosoft VisualBasic6を用いて作成した。

表7. 静的圧力値計量装置の概略

自走式ベールラップ	タカキタ SW1000
油圧センサ	キーエンス社 AP-15S 定格：20MPa
油圧センサアンプ	キーエンス社 AP-V-80
リミットスイッチ	Panasonic 社 VL ミニリミットスイッチ AZ8107
質量表示機	WindowsXP ハンファジャパン Viliv S5 USB 接続 I/O ボード CONTEC 社 AI-1608AY-USB
電源部	自走式ベールラップバッテリー 安定化電源 MSC-121215R 入力電圧 10-15V 出力 12V
油温度センサ	SP 武川 LCD サーモメータ

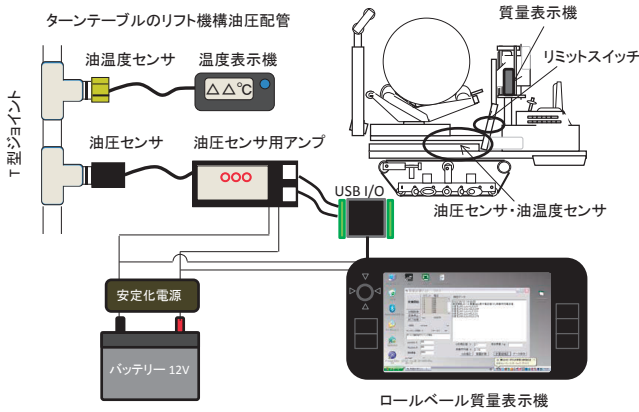


図 30. 静的圧力値によるロールベール計量装置の概略

ロールベールの質量推定は、第4章と同様にあらかじめロールベール無しでターンテーブルを持ち上げた状態の圧力値を無加重とし、質量が既知のロールベールを載せて測定した圧力値から、直線回帰式を算出して行った。ロールベール計量時の圧力値は、持ち上げ直後に最大値を示し、次に設定高さ（20cm）で静止時に振動したあとに安定する。その後、油圧シリンダのリークにより、圧力値は漸減する傾向を示した（図31）。このことから、質量の算定に用いる圧力値は、最大圧力値を記録してから5秒経過後の3秒間の圧力値を平均した値（0.1秒間隔で30点平均）を静的圧力値とした。計量時のターンテーブル高さを揃えるために、自走式ベールラップにリミットスイッチを設置し、ターンテーブルが設定高さまで持ち上がるとリミットスイッチが作動し、作業者手元のLEDが点灯し、作業者に知らせる仕様とした。

5.3.2 屋内での計量装置の計量精度評価

開発した計量装置を自走式ベールラップ（SW1000）に装着し、屋内環境にてロールベール4点とロールベール無しでの計量試験を行った。ロールベール無しと370kgのロールベールの2点を用いて質量推定式を作成後に、残りの3点の静的圧力値から推定式により推定質量を算出した。試験は屋内の平坦な場所で実施し、持ち上げ高さは20cmとした。また、持ち上げ高さが静的圧力値に及ぼす影響を検討するために、ロールベール無し、348kgにおいて、持ち上げ高さを変えて静止させた際の静的圧力値の変化について検討した。

5.3.3 結果および考察

屋内での計量試験の結果、誤差の平均8kgとなり、開発目標の計量精度±10kgと同等の精度が得られたことから（図32）、静的圧力値を指標とした質量計測手法は実用レベルと考えられた。また、静的圧力値とターンテーブルの持ち上げ高さについて検討したところ、ターンテーブルを静止させる高さにより静的圧力値は漸減する

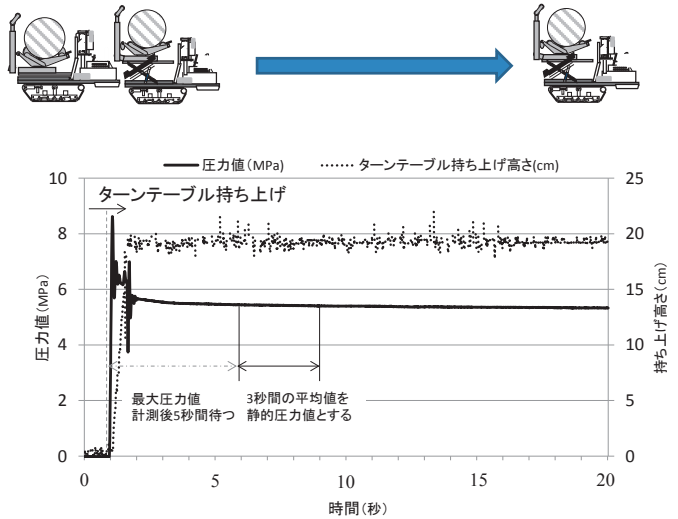


図 31. 計量時の圧力値と持ち上げ高さの関係（自走式ベールラップ SW1000 にて実施）

○ 推定式作成用(2点) ● 推定精度評価用(3点)

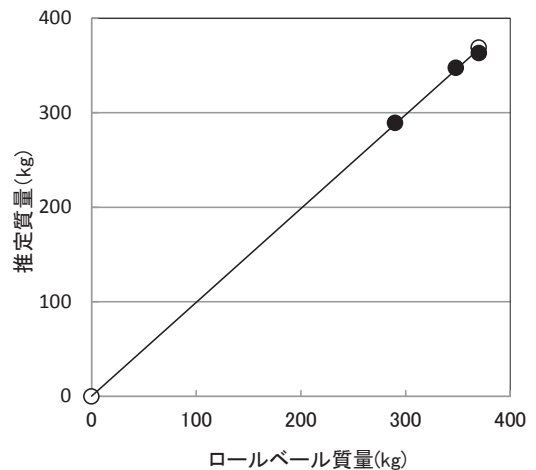


図 32. 屋内試験での静圧圧力値方式での質量と推定質量の相関（自走式ベールラップ SW1000 で実施）

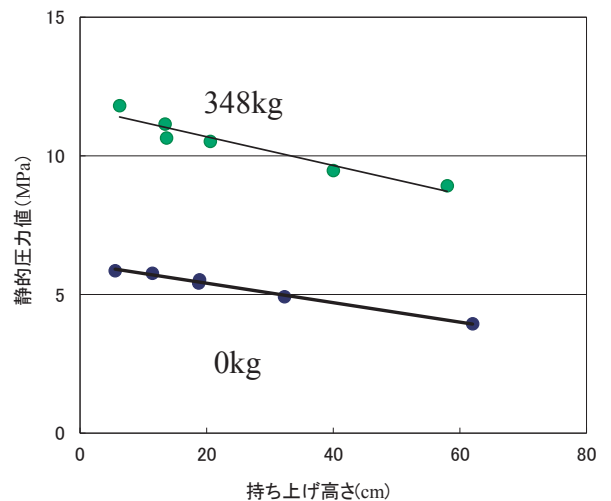


図 33. 静圧圧力値とターンテーブル持ち上げ位置の関係（自走式ベールラップ SW1000 にて実施）

傾向を示した(図33)。このことから、静的圧力値を用いる計量手法における計量精度の確保には、ターンテーブルを持ち上げた際の高さを一定とすることが重要で、その制御にはリミットスイッチの設置や、自走式ベールラップの油圧制御部分に位置情報を反映させる等の自走式ベールラップの制御機構の改良が重要な課題と考えられた。

5.4 市販機用ロールベール計量装置

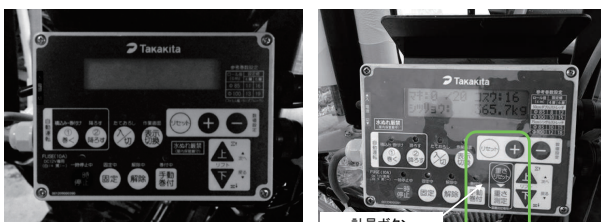
自走式ベールラップのターンテーブル部の静的圧力値を指標とする計量手法は、最大圧力値を指標とする手法に比べ、計量精度の向上が可能と考えられた。しかし、計量時に新たにターンテーブルの持ち上げ高さを一定とするためには、自走式ベールラップ本体の制御機構の改良が必要と考えられた。そこで自走式ベールラップの販売元である株式会社タカキタと共同で、静的圧力値を用いる手法を用いた自走式ベールラップ用のロールベール計量装置を開発した。

市販機用に開発したロールベール計量装置は、自走式ベールラップ(SW1120D, タカキタ, 名張市)を対象としたものである。計量装置は、油圧センサ、ターンテーブル持ち上げ高さ制御用リミットスイッチ、油圧配管の改良からなる(表8)。自走式ベールラップの操作コントロールボックスに、質量計測用に“重さ測定”ボタンと、“重さリセット”ボタンが追加されている(図34)。

計量作業は以下の順序で実施される。まず(1)自走式ベールラップにより未ラップのロールベールをターンテーブルに載せる。次に(2)コントロールボックスの“重さ測定”ボタンを押す。次に(3)自動でターンテー

表8. 市販機用計量装置の概略

自走式ベールラップ	タカキタ SW1120D
油圧センサ	共和電業 PVL200KC 定格: 20MPa
リミットスイッチ	OMRON D4CC
逆流防止弁	-
質量表示機	タカキタ社製コントローラ改良版
電源部	自走式ベールラップバッテリー



計量機能無しコントローラ

計量機能付コントローラ

図34. 自走式ベールラップコントロールボックス

ルがリミットスイッチ設置位置(10cm)まで持ち上がり、圧力値が安定後にターンテーブルが降下する。最後に(4)コントロールボックスにロールベール質量が表示される。以上の操作で計量した後は、通常作業と同様にラップフィルム梱包作業を行う。

計量作業で用いる推定式は、工場出荷時に校正されたパラメータが設定されている。計量作業の前には、ロールベールをターンテーブルに載せない状態で計量し“重さリセット”ボタンを押して、0kgの補正を行う。また、推定式のパラメータ調整もコントローラから可能である。予備試験の結果、静的圧力値は負荷に対し再現性が高く、第4章の最大圧力値を指標とする手法では3回ターンテーブルを昇降させその平均値を指標としていたが、本手法は1回の昇降で計量可能と考えられた。

5.5 屋内での市販機ロールベール用計量装置の計量精度評価

5.5.1 屋内での計量試験

自走式ベールラップ(SW1120D)にて計量装置を取り付け、屋内の平坦な場所で錘を用いて0~430kgの質量範囲(12点)で計量試験を実施した。0kgと430kgの2点の静的圧力値を指標とし直線回帰式により推定式を作成した。

5.5.2 結果および考察

屋内試験の結果、0~430kgの錘に対して、誤差の平均3.2kgでの計量が可能であった(図35)。本章3.3での計量装置の結果(図32)の誤差8kgに比べ計量精度が高い傾向が示された。これは、ターンテーブルの持

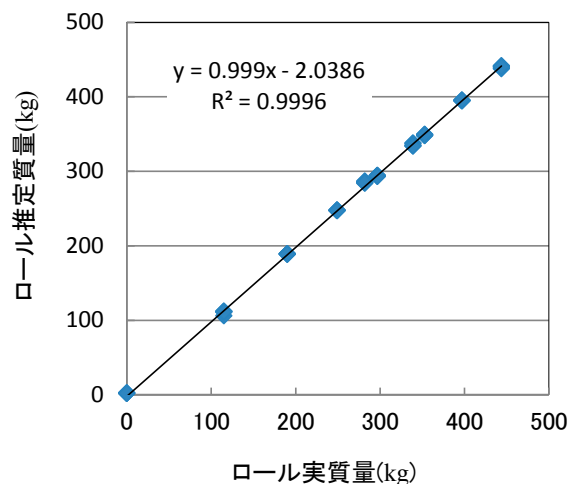


図35. 屋内試験での静圧圧力値方式での実質量 M と推定質量 M_s の相関 (自走式ベールラップ SW1120D にて実施)

ち上げ高さを揃えて圧力を計測していることから、ターンテーブル部の荷重が安定して計測され、結果として計量値が安定すると考えられた。ターンテーブル静止時の油圧シリンダからのリークが低減されている効果も精度向上に寄与していると考えられる。また、計量試験時の自走式ベールラップの作動油温度は20～35℃で、測定時の静的圧力値の変化はほとんど見られなかった。その理由として、最大圧力値を指標とした場合は、作動油の粘度の影響が大きいと考えられるが、静的圧力値の場合は作動油が油圧シリンダ内を移動しておらず、そのため作動油の粘度の影響が低いと考えられる。圃場作業時には自走式ベールラップの作動油温度は安定しないことから、静的圧力値を用いた手法は有用と考えられる。

5.6 生産現場における市販機ロールベール用計量装置の計量精度評価

5.6.1 生産現場での計量試験

市販機用計量装置を装着した自走式ベールラップにより、2014年5月14日に三重県畜産研究所において飼料ムギ（ニシノカオリ、乳熟期）の収穫作業時に計量試験を実施した。飼料ムギロールベール計量作業は収穫圃場内で行った。また、舗装路面上で低水分ロールベールと麦稈乾草ロールベールを計量した。供試ロールベールは懸架式ホイストクレーン（HS-CD-10クボタ、大阪市）を用いて秤量し、秤量値を実測値 M として、計量装置による計量値 M_s と比較した。

作業時の自走式ベールラップの作動油温度を、オイルタンクに温度センサ（株ティアンドデイ社、おんどとり TR-71U、松本市）により計測した。また、生産圃場内での圃場の傾斜を傾斜計（デジタルプロトラクタ傾斜計 MJ360、佐藤商事、川崎市）にて計測した。

5.6.2 結果および概要

計量試験の結果、ロールベールの推定質量と実質量を誤差の平均-3.5kg、標準偏差1.5kgで精度良く計量できることが明らかになった（図36）。また、計量作業時間は15秒/個程度であった。第4章で示した最大圧力値を指標とした手法では、屋内試験ではある程度の精度が確保できたものの、生産現場での試験では誤差が拡大する傾向を示したが、一方、本章の市販機用ロールベール計量装置では、屋内試験（図35）と屋外試験（図36）での計量作業でほぼ同等の精度を得ることができた。計量作業時の作動油温度は30～55℃となり、第4章における屋外試験とほぼ同様の傾向を示したが、静的圧力値では計量精度が確保できた。また、圃場内の傾斜は測定の結果、最大2.5度程度であったが、図36の結果から

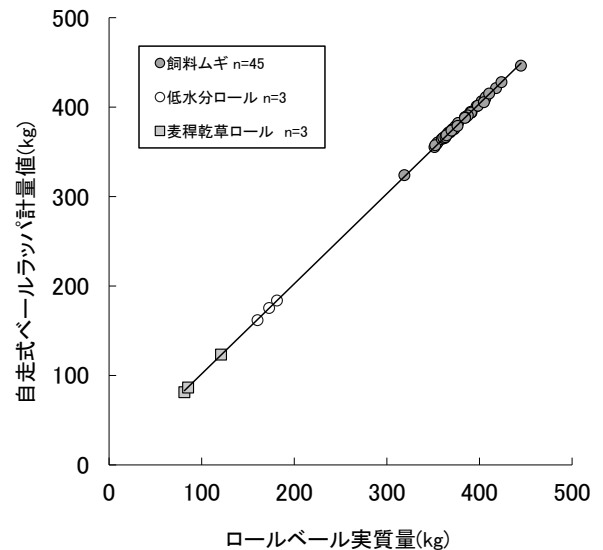


図 36. 屋外試験における計量試験結果

畝立てしていない飼料ムギの圃場においては、圃場の傾斜による計量精度への影響は少なかったと考えられる。

5.7 結言

本章での試験により、以下のことが明らかになった。

- (1) 自走式ベールラップのターンテーブルを持ち上げ後に、一定の高さで静止させ、安定した際の圧力値を指標とする手法により、計量精度が向上できることが確認できた。
- (2) 静的圧力値による計量では、計量時のターンテーブルの位置を一定とすることが重要であることが明らかになった。
- (3) 静的圧力値による計量手法を用いたタカキタ社製自走式ベールラップ市販機用計量装置により、400kg程度までのロールベールを5kg以内の精度で、所要時間15秒程度で計量することが可能であった。

第6章 ロールベール質量を記載した製品ラベル印刷手法の開発

6.1 緒言

第2章では、飼料イネの流通基準に対応した生産履歴管理システムの開発とロールベールに貼付ける製品ラベルの印刷手法について報告した。生産履歴管理システムには、栽培履歴や収穫時の圃場の状態の項目等は反映可能であったが、流通基準で推奨項目とされているロールベールの質量、水分は収穫調製時に簡易に計測が困難であることから、生産履歴管理システムとロールベールに貼付ける製品ラベルへ反映できなかった。

第3章と第4章では、ロールベール質量の簡易計測手法として、自走式ベールラップのターンテーブル昇降用油圧シリンダを用いた計測手法について、第5章では自走式ベールラップ市販機用の車載型ロールベール計量装置の開発と、その計量精度について検討し、収穫圃場で自走式ベールラップのみでロールベール質量を5kg以内の誤差で計量できることを明らかにした。

そこで生産履歴管理システムと、製品ラベルに質量情報を印刷させるために、自走式ベールラップ市販機用ロールベール計量装置と生産履歴管理システムの間で、ロールベール質量値を通信し、生産履歴管理システムにて質量情報を記録管理し、製品ラベルに質量情報を印刷するための改良を行った（以下、ロールベール質量ラベル印刷装置）ので報告する。

6.2 ロールベール質量ラベル印刷装置の開発目標

開発目標を以下に示す。まず(1)自走式ベールラップによる一連の作業時に、自走式ベールラップのみでロールベールの質量を計量すること。次に(2)自走式ベールラップから、製品ラベルの印刷命令を通信し、圃場横に設置したラベルプリンタから製品ラベルを印刷できること。最後に(3)ロールベールの質量情報を管理し、圃場毎に集計可能とすることとした。

6.3 ロールベール質量ラベル印刷装置の概略

ロールベール質量ラベル印刷装置は自走式ベールラップ(SW1120DM)、市販機用ロールベール計量装置と、第2章で開発した生産履歴管理システムからなる(表9、図37)。市販機用ロールベール計量装置に質量値のシリアル通信機能を追加し、その入力信号を受けて無線通信

表9. ロールベール質量ラベル印刷装置の諸元

自走式ベールラップ	タカキタ SW1120D
市販機用計量装置	油圧センサ, リミットスイッチ, 油圧配管改良等 自走式ベールラップコントローラ (タカキタ社製) 質量値シリアル通信出力機能追加
通信装置	PICマイコンボード (イートラスト社製) 入力: 1線シリアル通信 出力: Bluetooth通信
生産履歴管理システム	ノートPC (パナソニック社 タフブック CF-H1) 生産履歴管理プログラム (日本無線社製) 製品ラベル印刷プログラム (日本無線社製) 質量データ通信プログラム (VB2010にて記述) ロールベール質量データベース (VB2010にて記述) 製品ラベル印刷用データ差し替えプログラム 圃場入力端末 (AndroidOS 端末) ラベルプリンタ (東芝テック B-EV4T-GC17-R)

下線部が本章における改良点

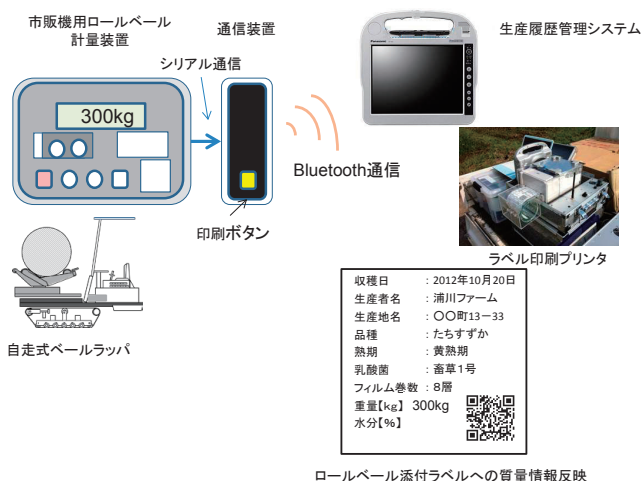


図37. ロールベール質量ラベル印刷装置の概略

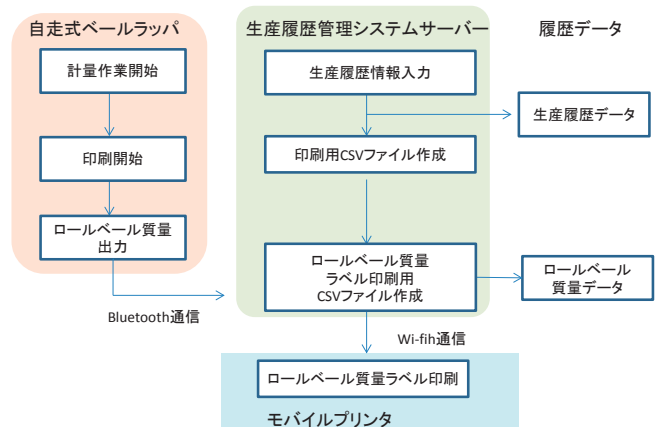


図38. ロールベール質量ラベル作成フローチャート

で出力させる通信装置の開発，および生産履歴管理システムのプログラムの改良を行った。

生産履歴管理システムでは，ロールベールの生産履歴情報を圃場毎に管理している。しかしながら，ロールベール質量は均一ではなく，個々のロールベールで異なることから，別途ロールベールの質量管理用データベースを作成することとした。製品ラベルの印刷は，生産履歴管理システムの印刷プログラムを使用し，製品ラベルに印刷する際に，ロールベール質量情報部分だけを差し替えるプログラムを作成した（図38）。

6.4 ロールベール質量ラベルの運用試験

6.4.1 調査方法

畜産草地研究所那須拠点にて，ロールベール質量ラベル印刷手法の運用試験を実施した。運用試験では，あらかじめ生産履歴管理システムで取り扱う圃場情報や事務所等で入力し，収穫調製時の圃場の状態や熟期等の情報はHTから入力することとした。ロールベール質量は，自走式ベールラップ車載式計量装置にて計量後，通信装置の印刷ボタンを押し，生産履歴管理システムが稼働しているPCにBluetoothシリアル通信により，質量値を送信し，生産履歴管理システムの印刷データに質量値を反映させ，モバイルプリンタにて製品ラベルを印刷し，ロールベールに貼付けた。

6.4.2 結果および考察

開発したロールベール質量ラベル印刷装置により，収穫調製時に個々のロールベールに，質量情報を付記させた製品ラベルを印刷，貼付けることが可能であった。計量に要する時間は15秒程度で，通信には2秒程度，印刷に要する時間は5秒/個程であった。また，個々のロールベールの質量を記録管理することにより，圃場での実収量を算出可能となった。

しかしながら，個々のロールベールを計量し，その値を記載した製品ラベルを印刷し，ロールベールに貼付けるためには，自走式ベールラップの作業者が自走式ベールラップと圃場脇に設置したラベルプリンタ間を頻繁に行き来する必要があるため作業者の負担が大きいことから，収穫作業時のラベル印刷と貼付け手法に改善が必要と考えられた。

流通基準ではロールベール質量は同一圃場を同一ロットとし，その代表値とする。生産履歴管理システムの情報も圃場単位で記録管理していることから，ロールベール質量ラベル印刷装置においてもロールベールに貼り付ける製品ラベルに記載する質量情報は，計量した平均を代表値として取り扱うことが実用的と考えられた。

現在，飼料イネ等ロールベール等の高水分牧草の水分計測手法として，土壌水分計を応用した差し込み式の水分計による計量⁷⁾や，木材水分計を応用した静電容量式の水分計による計量¹²⁾等で，非破壊で短時間に牧草の水分計測可能な手法が開発されつつあり，本計量装置による質量情報と組み合わせることで，ロールベールの乾物量の推算が可能と考えられる。

6.5 結言

本章での試験により，以下のことが明らかになった。

- (1) 収穫作業時に自走式ベールラップでロールベール質量を計量し，圃場で印刷する製品ラベルにロールベール質量値を記載することが可能となった。
- (2) ロールベール質量情報を記録管理可能であり，個々のロールベールを計量することで，圃場での実収量の算出が可能である。
- (3) 質量情報を付記した製品ラベルの印刷，貼付け作業について自走式ベールラップの作業者の負担を少なくする運用手法の検討が必要である。

第7章 3D デジタルカメラによる体型計測手法の開発

7.1 緒言

放牧牛は放牧期間中，草地内にて飼養される。一般に放牧草地は複数の牧区に区分され，牧区間で牛を移動させる輪換放牧が行われている。牧区により草量や栄養価は異なり，放牧頭数によっても草地の状態は変化し，放牧牛の健康や発育に影響を及ぼす。そのため，放牧牛の発育状況を把握することは草地管理，放牧管理において重要である。発育の指標として，体重や体高等の体型計測があげられる²⁸⁾。しかしながら，公共牧場における牛体重計導入率は57%と低く⁴⁾，体重測定を実施している公共牧場は限られている。さらに体尺計による体型計測を実施している公共牧場はほとんどないのが現状である。

近年，画像解析手法やセンサによる非接触での家畜の測定手法の研究が進んでいる。デジタルビデオカメラ画像（2次元画像）で牛体と牛の横に置いた既知のサイズの枠を撮影し，比較する手法^{21,22)}により，牛体型（体高，十字部高等）を高い精度で解析できることが報告されている。また，牛歩行式体重計の上に設置した超音波センサにより測定した歩行中の牛の背の高さ（以下，背線高）は牛体高と高い相関を示すことが報告されている⁵⁵⁾。しかし，これらの手法では，計測は草地内では行えず，

牛通路等の設備に牛を集めて行う必要があり、また機器導入に大きな投資を必要とする。よって広大な草地を有する公共牧場では、放牧牛の体型測定手法として普及していないのが現状である。

さらに進んだ画像解析手法として、対象物を複数回撮影した画像を解析し測量する立体視解析手法が広く実用化されてきている。また、2つの画像記録素子（以下、CCD）を有する3次元（以下、3D）デジタルカメラ画像の立体視解析手法が進み、コンパクトタイプの3Dデジタルカメラと専用3D画像解析ソフトの市販化も実現されている。

そこで本研究では、体尺計を用いずに持ち運びが可能でかつ簡易に撮影が可能なコンパクトタイプの3Dデジタルカメラにより、放牧育成牛（ホルスタイン種、黒毛和種）を放牧草地や集牛施設周辺で撮影し、撮影した3Dデジタルカメラ画像（以下、3D画像）を解析することにより、牛体型を推定する手法について検討した。

7.2 3D デジタルカメラの概略

放牧牛撮影に使用した3Dデジタルカメラは平行ステレオ方式のコンパクトデジタルカメラ（FinePixReal3DW3 校正機、富士フィルム、港区）で、CCD間距離は7.5cmと人の両眼距離と同等である。同時に2枚の画像（JPEG画像）を撮影し、3D画像（MPO形式ファイル）として記録する（表10）。

牛体型値の推定に使用した3D画像解析ソフト（StarPictMeasure、桜井株式会社、台東区）は3D画像からテンプレートマッチング手法を適用し立体視復元を行っている（図39）。すなわち、左画像上の任意点座標（ x_L, y_L ）

表 10. 3D デジタルカメラによる体型解析機材

圃場利用機材	
・ 3D デジタルカメラ	富士フィルム社 FinePixREAL 3DW3
画素数	1017 万画素 × 2
画像ファイル	5MB/ 枚 (MPO 形式)
焦点距離	6.3mm (35mmフィルム換算 35mm 相当)
本体質量	250g
	3D 画像解析ソフトウェア用専用 CCD 校正済
・ 三脚	SLIK 社 F630
本体質量	1320g
・ 野帳	牛番号・撮影枚数等記載
3D 画像解析ソフトウェア	
・ 3D 画像解析ソフト	桜井株式会社 StarPictMeasure
WindowsOS	
	3D 画像上の任意点の 3D 座標解析
	任意点間の距離の算出
	解析結果画像の出力 (PDF, EXCEL 形式)

y_L) における周辺画素（RGB 画素情報）の局所的パターンをテンプレートとし、右画像内でテンプレートと相関が最も高い点（ x_R, y_R ）を算出し、左右の画像を対応づける。平行ステレオ方式画像では、 y_L と y_R はエピソード線上に位置し、値となるため、 x_L と x_R の差が視差 d となる。視差 d と CCD 間距離 b および焦点距離 f から、任意点のカメラを起点とした測定対象点の横、縦、奥行きを示す 3 次元座標（ X, Y, Z ）が求まる¹⁰⁾。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_L \cdot b / d \\ y_L \cdot b / d \\ f \cdot b / d \end{bmatrix} \quad (7-1)$$

また、画像上の 2 点を指定することにより、2 点間の距離を算出した。

7.3 3D デジタルカメラによる放牧牛撮影

7.3.1 撮影条件

牛の側面から、牛全体を画像中心に位置するように 3D 画像の撮影を行った。測定精度を確保するため、牛と 3D デジタルカメラの距離は 5m 以内で、なるべく水平な場所で撮影した。また、撮影時 3D デジタルカメラは手ブレ低減を図るためと、解析時に牛の背の部分の座標を必要することから脚元と背線部分が映るよう体高よりも高い位置（160cm）で三脚に固定した。牛が頭をあげ、両脚を揃えた姿勢の良い状態を理想の撮影条件として、画像撮影を行った（図 40）。牛の個体番号は画像から確認できない場合が多いため、撮影時に野帳に牛番号と撮影枚数等を記録した。

7.3.2 解析部位

本画像解析では、3D 画像上のき甲点部と足元の 2 点間を指定し座標を解析し、その 2 点の距離を推定体高とした。解析を 3 回繰り返す、平均値を代表値とした。

7.3.3 結果および考察

3D デジタルカメラと三脚は 1.6kg と軽量で、撮影者

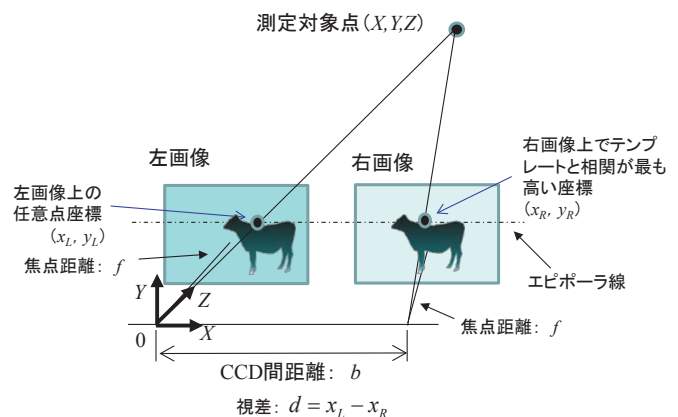


図 39. 3D 画像による測定の概要（平行ステレオ方式）

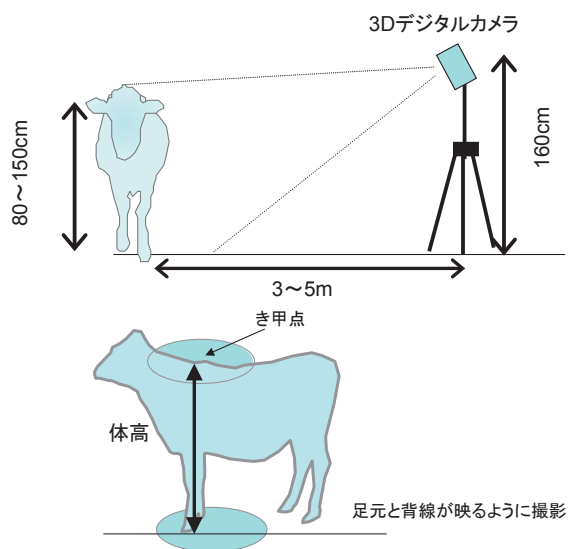


図 40. 3D デジタルカメラ撮影条件

が放牧地内や牛通路横を移動しながら放牧牛の側面画像を撮影可能であった。撮影時は画像中心に牛の側面が映るように、かつできるだけ牛の姿勢が良い画像を撮影したため、牛通路横では 35 秒/頭程度、放牧地内では 40 秒/頭程度の撮影時間を要した。

撮影牛の番号は耳に装着した耳標識の番号から識別するが、得られた 3D 画像のみでは牛番号を特定できない事例が多く、また同一牛を複数回撮影することもあり、別途野帳に牛番号と撮影枚数を記載し、解析の際に牛番号と特定を可能とした。

7.4 3D デジタルカメラによる放牧牛の体型解析

7.4.1 3D デジタルカメラによる撮影と解析

放牧牛の撮影を以下の 2 畜種で行った。

(1) **ホルスタイン種育成牛**：群馬県浅間家畜育成牧場のホルスタイン種育成牛（月齢 9.8～20.8 ヶ月）の放牧牛群（平均 90 頭）を対象に、月 1 回の体測時に 3D 画像を撮影した。すなわち、歩行式体重計用の牛通路に 1 列に並んでいる牛の側面を個体ごとに撮影した（2013 年 1 月～5 月）。体重計用通路は枠高さ 120cm、幅 60cm、長さ 100m 程で、撮影距離 3～4m とした。体高は体尺計（牛体測定器ホル協式、富士平工業、文京区）により、体重は歩行式体重計（ロデオテック 2RT-2W、クボタ、大阪市）により計測した。

(2) **黒毛和種育成牛**：畜産草地研究所御代田研究拠点の黒毛和種育成牛（月齢 2.6～11.1 ヶ月）の放牧牛群（のべ 11 頭、平均 7 頭）を対象に、放牧期間中（2012 年 5 月～10 月）に各月 1 回放牧草地内で個体ごとに牛側面を撮影した。撮影距離は 3～5m とした。体高は体尺計（和牛牛体測定器、富士平工業、文京区）により、体重は

可搬式体重計（Tru-Test EC-2000S、富士平工業、文京区）により計測した。

データ解析にあたっては、3D 画像解析ソフトにより推定した体高値と、放牧牛の体高、体重との相関について表計算ソフト（EXCEL2010、マイクロソフト社）により回帰分析を行った。また、推定体高と体尺計により実測した体高（以下、実測体高）を対応のある t 検定（Statcel197.xls）により比較した⁶⁶⁾。

7.4.2 結果および考察

3D 画像解析ソフトウェアによる推定体高の解析結果を図 41 に示す。解析ソフトウェアでは、撮影した 3D 画像ファイルから左右 2 つの画像が表示され、左側の画像上の任意の点を指定すると左右の画像を比較し、マッチングする座標のずれから画面右下にカメラを基点とした座標データを算出し表示する。き甲点部とその足元の座標の 2 点を指定すると 2 点の距離が計測結果として表示され、この値を推定体高とし、3 回の平均値を代表値とした。解析作業時間は 2.9 分/頭であった。撮影時の照度は 40～120kLx 程度で、降雨降雪時に撮影した 3D 画像の解析も可能であった。

ホルスタイン種育成牛で撮影した 435 頭分の 3D 画像から、429 頭分を推定でき（成功率 98.2%）、黒毛和種育成牛では 53 頭分から、49 頭分を推定できた（成功率 92.4%）。推定できなかった事例は 3D カメラによる撮影ミスが 3 件、牛の脚元や背が草や体重計枠に隠れた事例が 7 件の合計 10 件であった。

3D 画像上のき甲点部と 3D デジタルカメラとの距離を撮影距離としたところ、ホルスタイン種育成牛の撮影距離は平均 291.8cm、標準偏差 26.8cm で、黒毛和種育成牛の撮影距離は 323.0cm、標準偏差 124.7cm であった。ホルスタイン種育成牛では牛通路横から撮影したのに対し、黒毛和種育成牛は放牧草地内で放牧中に撮影したため、撮影距離は大きく、かつ、ばらつきが大きくなったものと考えられる。

表 11 に撮影牛の実測体高、推定体高、体重を示す。黒毛和種育成牛、ホルスタイン種育成牛で実測体高と推定体高について有意な相関関係が得られた（ $p < 0.01$ ）（図 42）。実測体高と推定体高の相関係数は、ホルスタイン種育成牛で 0.670、黒毛和種育成牛で 0.921 であった。ホルスタイン種では両区において、推定体高は実測体高より大きくなる傾向が認められた。ホルスタイン種育成牛の推定体高と実測体高の誤差率 $\{(\text{実測体高} - \text{推定体高}) \div \text{実測体高} \times 100\}$ の絶対値の平均は 3.8% で誤差範囲は -12.1～7.3% であった。口田ら²¹⁾ はホルスタイン種雌成牛の 2 次元画像を用いた体高解析において、推

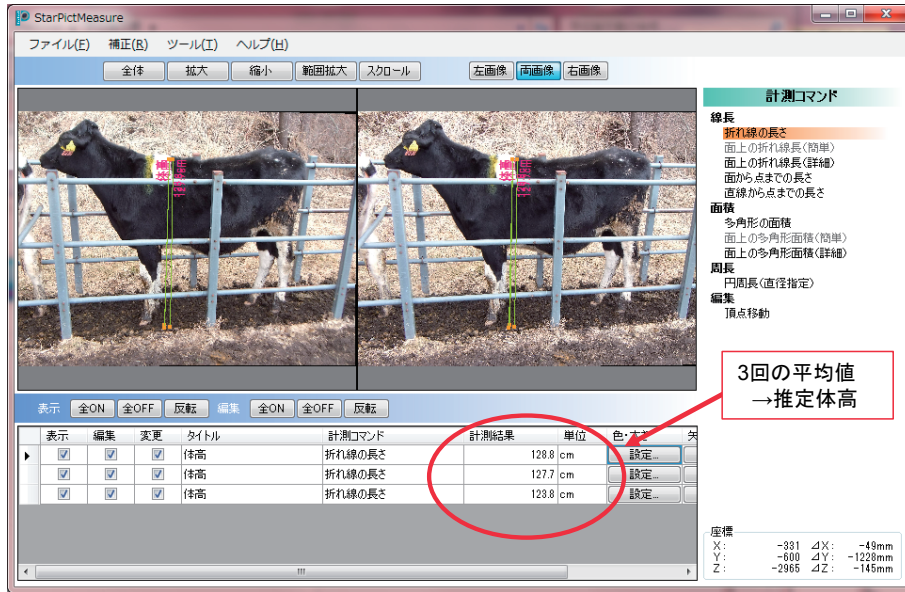


図 41. 解析ソフトウェアによる推定体高の測定事例

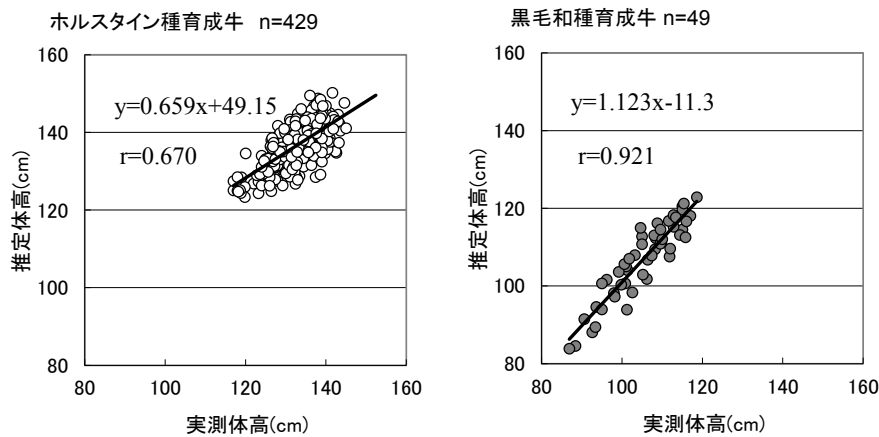


図 42. 実測体高と推定体高の相関

表 11. 撮影牛の実測体高, 推定体高および体重

(ホルスタイン種育成牛 n=429)				
	平均値	最大値	最小値	標準偏差
実測体高 (cm)	133	145	117	5.2
推定体高 (cm)	137	150	123	5.1
体重 (kg)	362	502	232	48.5

(黒毛和種育成牛 n=49)				
	平均値	最大値	最小値	標準偏差
実測体高 (cm)	105	118	87	8.0
推定体高 (cm)	107	123	84	9.8
体重 (kg)	195	335	78	65.5

定体高は実測体高より大きくなる傾向があり、誤差率の絶対値平均の 2.0%, 誤差範囲 -3.5 ~ 3.5% と報告している。また、背線高測定装置を用いて得た背線高と実測体高では相関係数 0.993 と報告されている⁵⁵⁾。本報での解析の精度は両報告よりも低い結果となった。誤差の要

因として、撮影時の牛の姿勢が考えられる。ホルスタイン種育成牛の撮影では体測のため牛は通路に追い込まれており、前後の牛に押される等で頭を下げたり背中を丸めたりする事例が多く発生した。撮影時に頭を上げた姿勢と頭を下げた姿勢での推定体高を比較したところ、頭を下げた姿勢の推定体高の方が小さくなる傾向（平均値 2.7cm, 標準偏差 3.9cm）が見られた。また、体尺計による体高測定時は牛の背の部分の体毛を抑えて測定しているが、3D 画像の撮影時は体毛を抑えることができないため、撮影時の体毛の状態により、推定体高が実測体高より大きくなった可能性がある。

体尺計による体高測定は通常 2 人作業で、1.5 分/頭程度を要する⁵⁵⁾。3D デジタルカメラによる体型推定では、撮影に 0.6 分、解析に 2.9 分で合計 3.5 分を要した。体型計測値を算出する総作業時間は要するものの、3D 画像解析ソフトによる作業は空き時間等で随時可能なこ

とから、放牧草地での体型計測作業自体は省力化できると考えられる。3D 画像撮影は一人作業が可能であり、撮影時の牛との距離や牛体の向き等の自由度は高い。また、放牧牛に直接触れる必要がないことから作業者にとって安全で、かつ放牧牛のストレスを低減することが可能と考えられる。

7.5 推定体高による放牧牛の発育評価の検討

7.5.1 発育評価手法

育成牛の発育程度は、月齢に応じた体重・体高の標準発育曲線⁶⁹⁾により評価される牛の栄養状態や成長度の評価指標として、ボディコンディションスコア (BCS) が用いられる。また、BCS は繁殖成績と密接な関係が報告されているが、評価者の主観的判断によって BCS 値が偏ることがあり、評価者に対する適切な訓練が必要とされる³⁾。一方、評価者に特別な訓練を必要としない簡易手法として、体重体高比が用いられ、肥育牛の体重体高比は 3～4 が適正值とされている。そこで、実測体高と推定体高を用いて、供試牛の月齢と体重から標準発育曲線との比較と、体重体高比の検討を行い、発育評価への適用性を検討した。

7.5.2 結果および考察

黒毛和種育成牛において、牛月齢と体重、実測体高および推定体高を標準発育曲線と比較した。牛個体によるばらつきは大きいものの、実測体高と推定体高は放牧中の牛の成長に伴い標準発育曲線に準じて推移した (図 43a, b)。したがって、撮影牛の月齢と推定体高および標準発育曲線により、放牧牛の発育評価が可能と考えられる。

次に BCS の簡易手法として、和種放牧牛の月齢と実測体重および実測体高算出した体重体高比 (以下、体重実測体高比) と、実測体重および推定体高から算出した体重体高比 (以下、体重推定体高比) の推移を検討した。両比はほぼ同値を示し、育成初期のため 1.5～3 と肥育牛の推奨体重体高比よりも小さく、月齢とともに増加する傾向を示した (図 43c)。このことから、体重推定体高比、すなわち、推定体高の逆数は育成牛の成長度の遅速の判断基準として利用できる可能性が示された。

7.6 推定体高による放牧牛の体重推定の検討

7.6.1 体重推定手法

牛の体型と体重は相関が高いことが知られており、特に胸囲と体重は相関が高く、黒毛和種去勢牛用にメジャー形式の体重推定尺が市販化されている²³⁾。また、体高、胸囲、腹囲等の体測値を組み合わせた推定式と、

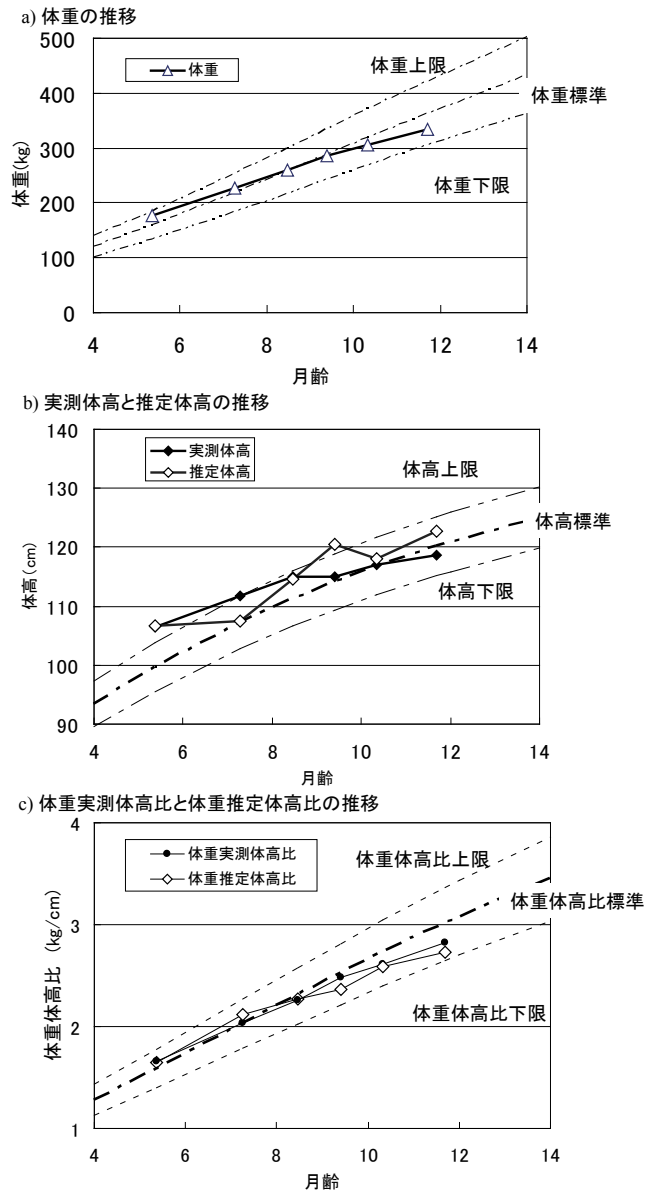


図 43. 黒毛和種育成牛の発育の推移例

体重には相関が高いことが報告されている^{9,24)}。しかし、いずれの報告においても、体高のみでは牛の高さ方向の成長度合いは把握できても、奥行き方向の情報がないため体重との相関は低いとされている。そこで、牛体重と推定体高と実測体高の相関性を検討し、推定体高による体重推定の可能性を検討した。

7.6.2 結果および考察

ホルスタイン種育成牛と黒毛和種育成牛のデータを用いて、牛体重と実測体高および推定体高の相関性を検討したところ、いずれも実測体高において推定体高よりも相関が高い傾向を見られた (図 44)。牛体重と体高の相関は 0.8 以下とされているが^{9,24)}、黒毛和種育成牛では 0.8 以上であった。これは既報の牛体重と体高の相関性の検討は肥育牛を対象としており、肥育牛では肥育の進行に

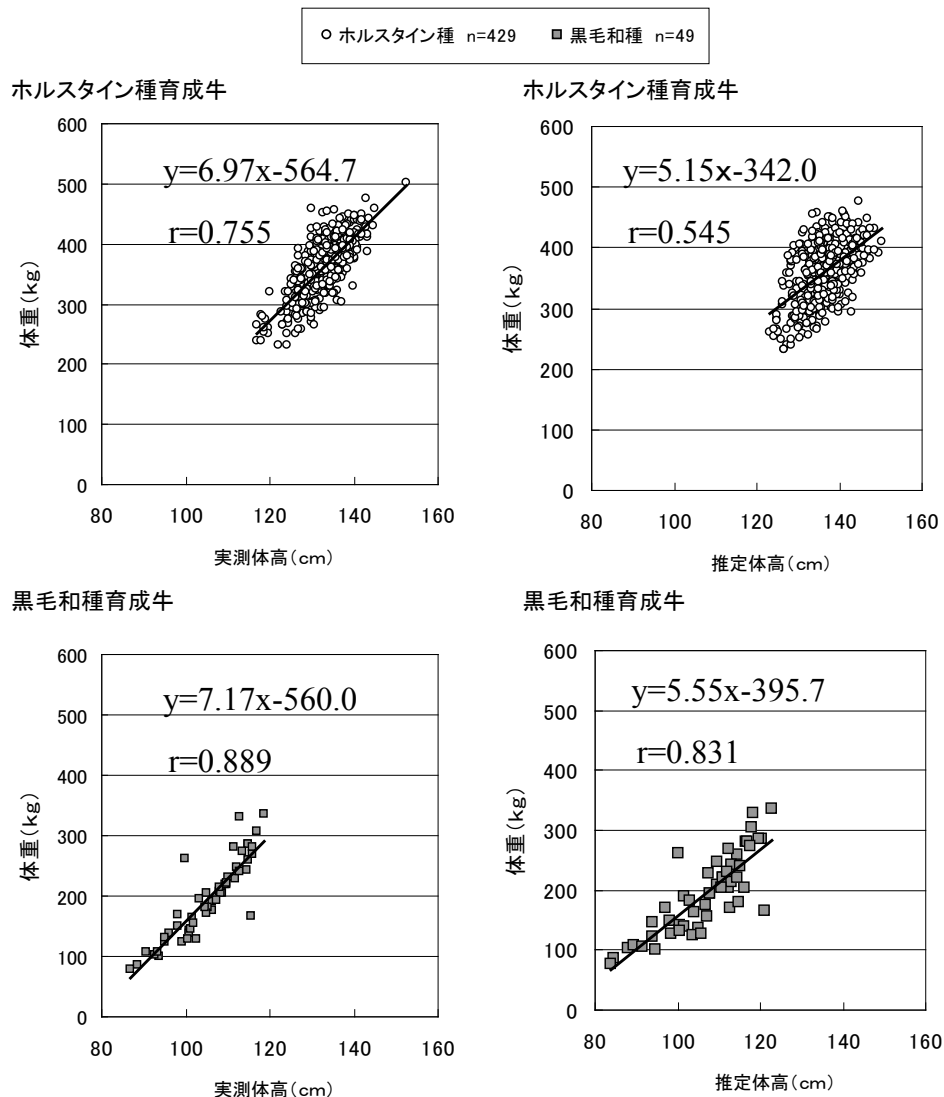


図 44. 体重と実測体高および推定体高との相関

伴い奥行き方向の増加がみられるのに対し、本報で用いた育成前期から育成中期の放牧育成牛では、肥育牛と比べ奥行き方向での体型差が少なく、結果として推定体高と体重との相関が高くなった可能性が考えられる。また、ホルスタイン種育成牛は妊娠牛を含むため、体重と体高の相関が低くなった可能性があり、体重推定精度の向上には更なる検討が必要と考えられた。

牛体の側面から撮影した3D画像からは、胸囲や腹囲の解析は困難であったが、牛上面から撮影した画像からは、側面（撮影方向）からみて奥行きである牛の横幅等の情報が取得可能であった。現時点では行えていないが、側面と上面から撮影した3D画像を組み合わせ、推定体高と推定横幅を用いることで、体重推定の精度向上が可能と考えられる。しかしながら、牛上面からの3D画像を得るためには、高さ2.5m程度の位置に3Dデジタルカメラを設置し、シャッターをリモートで操作する等の

改良が必要と考えられる。

7.7 結言

本章での調査および試験により、以下の知見を得た。

- (1) 3Dデジタルカメラ画像による牛体型解析による推定体高は、体尺計による実測値と誤差率3.8%程度で推定でき、放牧育成牛の発育を把握するための指標となりうる。
- (2) 牛画像撮影および解析には3.5分/頭を要した。体尺計による体高測定は通常2人作業で、1.5分程度であることから、体型計測値を算出する総作業時間は要するものの、3D画像解析ソフトによる作業は空き時間等で随時可能なことから、放牧草地での体型計測作業自体は省力化できると考えられた。
- (3) 3D画像による解析では、牛の姿勢の影響が大きいことから、撮影時の牛の姿勢制御が課題と考えられた。

第8章 3D デジタルカメラ自動撮影装置による 体型計測手法の開発

8.1 緒言

第7章において、3D デジタルカメラを用いた放牧牛の体型計測手法について検討した。体尺計による体高測定では、作業者が牛の両脚を揃え、頭を上げた姿勢（良姿勢）としてから体高を計測している。しかし、3D デジタルカメラによる手法では、撮影時に牛の姿勢制御が困難なため、牛姿勢が安定せず、牛の脚や頭の位置が一定でないことから、結果として体尺計による実測体高と3D デジタルカメラによる推定体高に差が生じたと考えられた。また、牛通路横からの撮影では、放牧牛の追い込み作業が必要となる。さらに、放牧草地内での撮影では牛が警戒した姿勢を取る事例が多く、牛との撮影距離がばらつくことや、体高解析には牛足元の草が少ない場所での撮影が必要なこと等が課題であった。

そこで撮影の手間を省き、かつ、自然な状態での牛の姿勢の3D 画像を撮影することを目的に、3D デジタルカメラによる自動撮影手法を検討した。自動撮影手法として、野生動物の調査等に用いられる赤外線センサ方式の自動撮影装置を利用することとした。放牧牛は気象状態や気温により異なるものの、1日1～4回飲水し、その飲水量は体重100kgあたり3～8ℓとされている⁵⁴⁾。ほとんどの放牧草地では給水所が設置されていることから、3D デジタルカメラを自動撮影装置に組み込み、給水所付近に設置し、放牧牛が自発的に自動撮影装置に接近した際に3D 画像を撮影し、得られた3D 画像から牛体型を推定する手法について検討した。

8.2 3D 画像自動撮影装置

3D 画像自動撮影装置の仕様を表12に示す。装置は給電装置（太陽光パネル、バッテリーおよび充電装置）と、バッテリー、自動撮影装置（マジカルフィンガー

表12. 3D 画像自動撮影装置

電力供給部
太陽光ソーラーパネル
充放電コントローラ
シールドバッテリー 12V-17Ah
自動撮影装置
HOGA マジカルフィンガー (赤外線センサ、自動シャッター機能)
3D デジタルカメラ FujiFilm FinePixREAL3DW3 校正機
撮影用ジグ
単管パイプで作成
撮影高さ 1.6-2.3m

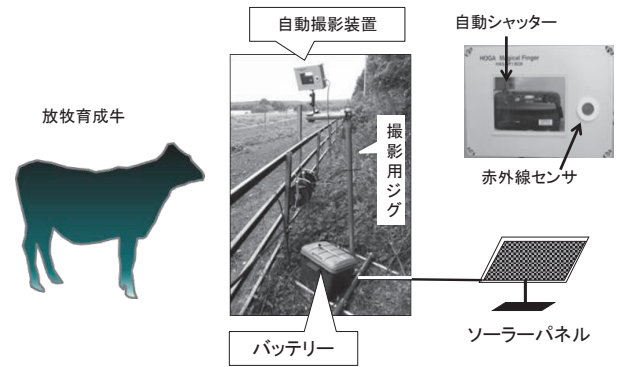


図45. 3D 画像自動撮影装置の概略

HOGA, 京都市), 3D デジタルカメラ (FinePixReal3DW3 校正機, 富士フィルム, 港区), 撮影用ジグからなる (図45)。給電装置は、太陽光パネルにてバッテリーを充電し、自動撮影装置および3D デジタルカメラに給電する。給電装置は充放電機能を有しており、長期間の自動撮影が可能である。自動撮影装置は防雨機能を有し、赤外線センサにて接近物を認識し、自動シャッター装置にて3D デジタルカメラのシャッターボタンを押しこみ、自動撮影を行う。

8.3 3D 画像自動撮影手法と解析

8.3.1 撮影手法

3D 画像自動撮影装置を、畜産草地研究所御代田拠点内の放牧草地（標高1000m程度、約2ha）の飲水施設周辺に設置し、黒毛和種育成牛（月齢3～9ヶ月、放牧頭数3～5頭）の牛群の自動撮影を行った。撮影は2012年6月から9月まで断続的にのべ16日間実施した。飲水施設から4m、高さ1.6mの位置から3D 画像自動撮影装置にて牛の側面を撮影した（以下、側面撮影）と、飲水施設の上側の地上高2.3m付近に3D 画像自動撮影装置を設置し、牛の上面からの画像を撮影する（以下、上面撮影）の2方式で実施した（図46）。3D 画像の解析は、3D 画像解析ソフト (StarPictMeasure, 桜井株式会社, 台東区) を用いた。側面画像からは牛体高を、上面撮影画像からは牛体高、かん幅を解析した。牛の固体識別は3D 画像に移っている耳標識を用いることとした。

なお、本ソフトウェアでの解析は、ストロボを使用した撮影では画素情報が劣化するため、自動撮影はストロボ禁止とした。そのため夜間については、自動撮影装置が検出した場合撮影はされているものの、3D 画像解析は行えていない。体高は体尺計（和牛用牛体測定器, 富士平工業, 文京区）により、体重は可搬式体重計 (Tru-Test EC-2000S, 富士平工業, 文京区) により計測した。

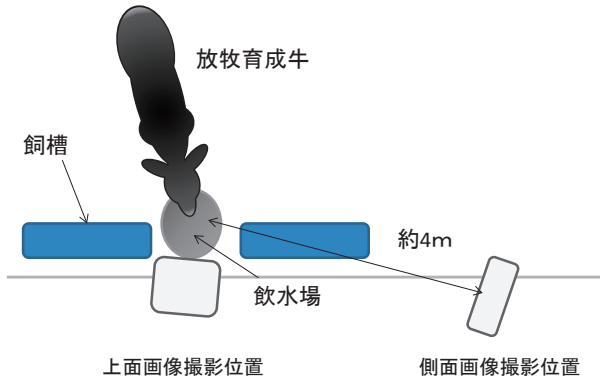


図46. 3D画像自動撮影装置の設置位置

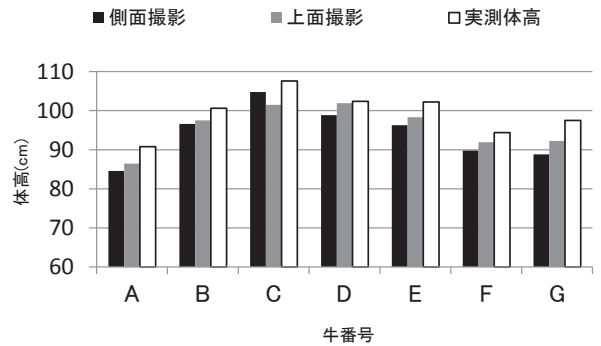


図48. 推定体高と実測体高の比較



側面撮影の事例



上面撮影の事例

図47. 3D画像の撮影例

8.3.2 結果および考察

3D画像自動撮影装置により、撮影期間中に放牧牛全頭の自動撮影に成功した。(図47)。3D画像は平均120枚/日程度撮影され、放牧牛が写り、かつ、3D解析可能な画像は平均70枚/日程度であった。側面撮影画像は牛の位置や姿勢が一定しておらず、牛との距離が遠く、画像から牛耳標が確認できない事例が多く発生したが、放牧牛の体高、十字部高の解析は可能であった。上面撮影画像は、飲水場上面からの撮影したことから、側面撮影画像よりも牛体との距離が近い画像が得られた。上面画像では、牛が映っていない場合の地面の座標と牛が写っている3D画像のき甲部の座標を用いることで、放牧牛の体高、十字部高を解析可能であった。また、上面画像では腰骨部の両端の座標を用いることでかん幅等を解析可能であった。しかし、側面撮影画像と同様に牛耳標が確認できないため、牛個体識別が困難な事例が多く発生した。

3D画像から推定した推定体高と体尺計による実測体高との比較について図48に示す。撮影期間中に牛の入れ替わりがあり、放牧頭数はのべ7頭であった。側面撮影からの推定体高と実測体高の差は平均で -5.1cm (標準偏差 2.0cm)、上面撮影からの推定体高と実測体高の

差は平均で -3.6cm (標準偏差 1.9cm) となり、側面撮影と上面撮影の両方で実測体高よりも測定値が小さい傾向を示した。

誤差が生じた理由としては、飲水場下は傾斜があり、かつ放牧中は泥濘化が進み、牛の足が泥に沈んだことにより、推定体高が低くなったことが考えられる。また、撮影画像は飲水場付近で対象物が動いた時に撮影されるため、飲水中の撮影画像は少なく、結果として牛の姿勢がよい画像を収集することは困難であった。撮影に失敗した画像の多くは野鳥やたぬき等の牛以外の動物に反応したものであった。また、霧や降雨時に撮影した3D画像では画像解析ができない事例も発生した。

8.4 結言

本章での調査および試験により、以下の知見が得られた。

- (1) 3Dデジタルカメラを自動撮影装置に組み込み、放牧草地の飲水場付近に設置することで、放牧牛の自動3D画像撮影が可能であった。
- (2) 自動撮影された3D画像から、放牧牛の体高、十字部高、かん幅の解析が可能であった。
- (3) 実測体高と、推定体高は誤差が5cm程度と大きく

なる傾向を示した。

(4) 自動撮影手法では、牛個体識別が課題であった。また、推定精度向上には、放牧牛の姿勢制御、飲水場周辺の泥濘化対策等が課題と考えられた。

第9章 総括

本論文は、粗飼料自給率向上を目的として、国産粗飼料の利用推進のために、飼料イネや飼料用ムギ等の自給粗飼料ロールベールの流通技術の開発と、放牧利用推進のために放牧牛の新たな体型計測技術の開発を行ったものである。

ロールベールの流通技術として、飼料イネロールベールの流通基準に準拠した生産履歴管理手法とロールベール用製品ラベルの印刷手法および、ロールベールの質量測手法を開発し、圃場実証する過程をまとめた。本手法により、水田等の有効活用および畜産農家が安定して入手できる粗飼料源を確保し、ひいては粗飼料自給率の向上を図ることができる。耕種農家にとっても水田活用、農地保全の面から重要な技術であると考えられる。

また、放牧牛の体型計測手法として、3D デジタルカメラで放牧牛を撮影し、3D 画像解析ソフトウェアにより放牧牛の体高を解析する手法により、非接触で放牧牛の体型情報を管理可能な手法としてまとめた。公共牧場における放牧育成牛の発育情報を提供し、草地や繁殖管理、預託農家への情報提供等に活用することにより、公共牧場の利用率向上への寄与が期待される。

9.1 ロールベール流通のための生産履歴システムの開発

飼料イネロールベールサイレージの生産拡大と、流通利用を促進するため、草地畜産種子協会が策定した飼料イネの流通基準に対応した生産履歴管理システムの開発と運用試験を行った。また、収穫作業時の圃場の状態等を反映させた製品ラベルを圃場で印刷し、ロールベールに貼付ける製品ラベルの印刷手法の開発と、製品ラベルの耐久性の検討を行った。その結果、収穫作業時の圃場での飼料イネの熟度や倒伏の有無、ロールベールへの土砂の混入等の収穫時圃場情報を生産履歴管理システムに反映させ、その内容を記載したロールベール用製品ラベルを圃場で印刷してロールベールに貼付けることが可能となった。生産履歴管理システムの操作に要する作業時間は、収穫調製作業の約5%で、作業者に大きな負担をかけることなく、生産履歴管理作業を行うことが可能であった。製品ラベルは屋外環境下で1年保管したロール

ベールにおいて剥がれることなく、印刷情報を識別可能なことを明らかにした。

9.2 自走式ベールラッパによるロールベール計量手法の開発

飼料イネの流通利用に際し、ロールベールの質量情報を付記することを目的に、省力的なロールベール計量法として、自走式ベールラッパによるロールベール計量手法について検討した。自走式ベールラッパのターンテーブル部のリフトアーム機構の油圧シリンダに油圧センサを設置し、ターンテーブルを持ち上げた際の圧力値の最大値と、ロールベール質量の相関性が高いことを明らかにした。

9.3 ロールベール計量装置の開発

第3章で検討した油圧を用いる計量手法を用いた自走式ベールラッパ用の車載式計量装置を開発し、収穫作業時に別途重機や秤を必要とせず、自走式ベールラッパのみでロールベールの計量を可能とした。

自走式ベールラッパのターンテーブルを持ち上げた際の最大圧力値を指標した計量装置を開発し、開発機により屋内試験を行ったところ、計量には40秒/個程度で10kg程度の誤差で計量可能であった。しかしながら、飼料イネ・飼料ムギの調製現場で計量試験を行ったところ、誤差は23kgと拡大した。その要因として、自走式ベールラッパの作動油の温度変化による作動油の粘性変化が考えられたことから、油温度による補正を検討したところ、誤差15kg程度で計量可能となった。

9.4 ロールベール計量精度向上技術の開発

第4章で検討した油圧計量手法は、ターンテーブルを持ち上げた際の最大圧力値を指標としているが、計量精度の改善が必要と考えられたことから、ターンテーブルを一定高さに持ち上げて静止させた際の圧力値（静的圧力値）を指標とした計量手法を用いたところ、屋内試験で5kg程度の誤差で計量できた。そこで、自走式ベールラッパ開発メーカーと共同で市販機用の計量装置を開発し、収穫時に圃場で計量試験を行ったところ、計量時間は20秒/個程度で100～400kgのロールベールに対し誤差5kg以内で計量が可能となった。

9.5 ロールベール質量を記載した製品ラベル印刷手法の開発

第5章で開発した自走式ベールラッパ車載型計量装置と、第2章で開発した生産履歴管理システムおよび製品

ラベル印刷システムと連動させ、製品ラベルにロールベールの質量値を反映させるシステムを開発した。

ロールベール質量値は車載型計量装置横に設置した通信装置から無線 (Bluetooth) で通信され、圃場横に設置した生産履歴管理システムとラベルプリンタと連動し、製品ラベルに質量値が記載される。作業者は自走式ベールラッパから、通信装置の印刷ボタンを押すことで、製品ラベルの印刷が可能である。開発したシステムにより、流通基準に準拠したロールベールの製品ラベルを圃場で作成、貼付け可能となった。その際に個々のロールベール質量を計量した場合、システムに質量情報が記録されることから、圃場での実収量の算出が可能となった。

9.6 3D デジタルカメラによる体型計測手法

3D デジタルカメラにより撮影した牛側面画像を画像解析ソフトにより解析することで、発育指標である体高の解析を非接触で実施することが可能であった。撮影には0.6分/頭、解析に2.9分/頭で合計3.5分/頭を要した。解析した推定体高と、体尺計による実測体高値は誤差3.8%程で、有意な相関関係が得られた。

放牧牛を集める施設が少ない公共牧場や、体重計施設がない公共牧場においても日常の飼養管理の際に写真撮影することで、柵場に集畜して計測しなければならなかった体高情報を得られることから、新たな飼養管理技術として有用と考えられる。しかし、体重・体高の撮影時の放牧牛の姿勢制御ができないことから、推定体高値や体尺計による実測値との誤差が大きく、姿勢制御が課題と考えられた。

9.7 3D デジタルカメラの自動撮影手法の検討

野生動物の自動撮影に用いられるソーラーバッテリー給電式の自動撮影装置に3D デジタルカメラを組み込み、放牧草地の飲水場周辺に設置することで、放牧牛の自動3D 画像撮影を実施した。自動撮影装置は、放牧牛全頭の撮影に成功し、得られた3D 画像から牛の体型解析が可能であった。側面から撮影した画像からは体高が、上方から撮影した画像からは体高、かん幅の解析が可能であった。ストロボ機能は使っていないため、画像は昼間に限定されるものの、放牧牛の飲水場の利用状況を解析することも可能であった。しかしながら、飲水場付近は泥濘化することが多く、牛の足元が沈む等の理由で画像から推定した体高値は小さくなる傾向を示した。また、画像から耳票に記載された牛番号を読み取ることが困難な事例が多く、個体識別手法が課題と考えられた。

9.8 結言

飼料イネの流通基準に準拠した飼料イネの生産履歴管理システムの開発と製品ラベルの印刷手法を開発し、その有効性を検証した。本手法により収穫作業時に生産履歴管理情報を入力し、圃場で製品ラベルを印刷し、その場でロールベールに製品ラベルを貼り付け可能となった。ロールベールの品質安定や畜産農家の購入増加、プレミアム化により、飼料イネの耕畜連携を進める一助となることが期待される。

ロールベールの質量情報については、開発した自走式ベールラッパ用の車載式計量機構により高い精度で計量可能となった。計量装置は2014年にタカキタ社より自走式ベールラッパのオプションとして市販化予定である。

飼料の流通取引の際の質量情報は、度衡法に準じた秤で計量する必要があることから、油圧による計量値はあくまで補助的な情報であるが、今後ロールベール品質担保面や圃場収量の評価等でロールベールの計量作業が一般的となることが期待される。

3D デジタルカメラと画像解析ソフトによる放牧牛の体型解析の有効性を検証した。また、自動撮影手法について検討し、長期間にわたる3D 画像モニタリングが可能であることを明らかにした。本技術は、非接触で安全に放牧牛の体型情報を取得可能な技術であり、体重計や追い込み施設が無い公共牧場等での家畜管理現場で放牧牛の体型情報を取得し、放牧牛の繁殖時期の決定や発育程度の把握への適用が期待される。

謝 辞

本論文を取りまとめにあたり、懇切なるご指導とご校閲を賜った九州大学農学研究院・内野 敏剛教授、田中史彦准教授、井上 英二教授、下條 雅敬准教授に深く感謝申し上げます。

本研究における国産粗飼料流通の課題は農研機構畜産草地研究所にて、平成18年～平成21年度農水省委託プロ「粗飼料多給による日本型家畜飼養技術の開発」および平成22年～24年度農水省委託プロ「自給飼料を基盤とした国産畜産物の高付加価値化技術の開発」、平成25～26年度畜産草地研究所交付金研究、平成26年度畜産草地研究所研究強化費にて行われました。研究の遂行にあたっては、畜産草地研究所・浦川 修司 上席研究員 (現山形大学) をはじめ、松尾 守展 主任研究員 (現生研センター)、川出 哲生 研究員、野中 和久 上席研究員、天羽 弘一 上席研究員、生研センター・志藤 博克 主任研究員、

近畿中国四国農業研究センター・高橋 仁康主任研究員，その他関係者の皆様には多く助言，ご協力をいただきました。

上記課題における飼料イネの流通基準に準拠した生産履歴管理システムの開発およびロールベール計量装置の開発にご協力いただいた，日本無線株式会社・森 章典氏，奥出 光生氏，日本無線エンジニアリング社・工藤 一郎氏，株式会社イトラスト・立川 隆氏，株式会社タカキタ技術部・岡嶋 弘氏，藤原 康弘氏，福田 博氏に深く感謝します。またドリームファームスズカ吉澤道彦氏，三重県中央農業改良普及センター・川村 淳也氏，三重県畜産研究所・山本 泰也氏，荒砥北部粗飼料生産機械化組合・山田 高則氏に現地試験での収穫作業および調査に多大なご協力をいただきました。

本研究における 3D デジタルカメラによる牛体型計測の課題は，畜産草地研究所御代田拠点にて，平成 23～26 年度に交付金研究にて行われました。畜産草地研究所草地管理研究領域・井出 保行 主任研究員，手島 茂樹 主任研究員，木戸 恭子 主任研究員，北川 美弥 主任研究員，生研センター・梅田 直円 主任研究員，浅間家畜育成牧場・永井 武史氏，堀澤 純氏，関口 梨果氏，宇敷 真子氏，群馬県畜産試験場・湯浅 泰子氏，群馬県西部家畜保健衛生所・板垣 光明氏，岩手県中央農業改良普及センター・安田 潤平氏，茂呂 勇悦氏，平久保 友美氏および畜産草地研究所御代田拠点業務 4 科職員諸氏に体測作業時の 3D 撮影および体重，体高の計測において多大なご協力をいただきました。

本論文の構成について，畜産草地研究所・山本 嘉人 領域長，塩谷 繁 領域長（現九州沖縄農業研究センター企画管理部長），市戸 万丈 研究管理監（現草地畜産種子協会）にご指導いただきました。厚く御礼申し上げます。

最後に社会人大学院生の生活を支えてくれた妻・美弥と娘・ちひろ，息子・琢己にありがとうの言葉を贈ります。

引用文献

- 阿部亮・淡路和則・石田元彦・浦川修司・鈴木一好・吉田宣夫 (2008). 平成 20 年度自給飼料増産対策加速化事業 稲発酵粗飼料現地実態調査事業報告書，社団法人全国農林統計協会連合会.
- 青田精一・渡辺好昭・石田良作 (1985). 低湿重粘度水田の転換畑における飼料作物の生育特性，日草誌 30, 389-395.
- Boster WH and Btoster VJ (1998). Body score of dairy cows, J. Dairy Research, 65, 155-173.
- 動物衛生研究所 (2000). 牛の放牧場の全国実態調査報告書, 18-23.
- 不二越油圧研究グループ(1988). 知りたい油圧回路・資料編, ジャパンマシニスト社, 静岡, 178-180.
- 福田普 (2013). コントラクター・TMR センターを核とした地域自給飼料生産システムの構築, 平成 25 年度飼料イネ・TMR センターに関する情報交換会資料, 畜産草地研究所, 那須塩原市, 1-26.
- 服部育男・長尾かおり・藤原基次・加藤直樹・城田圭子・井上浩一・山下憲男・指田勝美 (2014). ロールベールサイレージ流通促進のための迅速な水分計測手法, 日草誌 60 (別), 44.
- 井尻勉 (2009). 自走式細断型飼料イネ専用収穫期の開発, 農機誌 71 (5), 9-11.
- 磯崎良寛・稲田淳・古賀鉄也 (2003). 乳用種および交雑種去勢肥育牛における牛体各部測定値からの体重推定式, http://farc.pref.fukuoka.jp/farc/seika/h13_2/h13b-9-8.pdf [2014 年 8 月参照].
- 徐剛・辻三郎 (1998). 3 次元ビジョン, 共立出版, 東京, 95-103.
- 神田幸英 (2012). 三重県における水田粗飼料生産体系の特徴と「飼料イネ」生産の可能性, 日草誌 58, 37-42.
- 川出哲生・小島智美・橋保宏 (2014). 静電容量式水分測定器を用いた粗飼料含水率の推定, 日草誌 60 (別), 62.
- 川原田直也 (2010). 三重県における稲発酵粗飼料の広域流通と飼料ムギ生産, 平成 21 年度飼料イネの研究・普及に関する情報交換会資料, 畜産草地研究所, 那須塩原市, 53-58.
- 喜田環樹・浦川修司・松尾守展・志藤博克 (2012). 自走式ベールラップによるロールベール計量手法, 日草誌 57, 205-208.
- 喜田環樹・浦川修司・松尾守展・田中史彦・内野敏剛 (2013). ロールベール流通のための生産履歴管理システムの開発 1. システムの構築と清算法人における検証, 日草誌 59, 14-20.
- 喜田環樹 (2014). 自走式ベールラップ用のロールベール計量装置, 農業食料工学会誌 75, 371-373.
- 喜田環樹・手島茂樹・田中史彦・内野敏剛 (2014a). 3D デジタルカメラによる放牧牛の体型推定, 日草誌 60, 85-90.
- 喜田環樹・浦川修司・松尾守展・田中史彦・内野敏剛 (2014b). ロールベール流通のための生産履歴管理システムの開発 2. 自走式ベールラップ用ロール

- ベール計量装置の開発, 日草誌 60, 186-192.
- 19) 喜田環樹, 浦川修司, 松尾守展 (2014c). ロールベールサイレージの流通促進のための質量計測手法, 日草誌 60, 264-267.
- 20) Tamaki Kida, Shigeki Tejima, Toshitaka Uchino and Fumihiko Tanaka (2013). A technique for measurement of cattle form using a trail 3D digital camera, Proc of 22nd International Grassland Congress, 629-630.
- 21) 口田圭吾・鈴木三義・三好俊三 (1996). ビデオカメラを用いたコンピュータ画像解析による牛体尺測定の開発, 畜産の研究 50, 1207-1211.
- 22) 口田圭吾・篠原彩・鈴木三義・三好俊三 (1997). コンピュータ画像解析による牛舎内誘導通路を利用した体尺測定法の開発, 畜産の研究 51, 405-408.
- 23) 三橋忠由・島田和宏・三津本充 (2001). 黒毛和牛去勢肥育牛の推定尺, 特許 3401497.
- 24) 水原孝之・大本義彦・古澤剛・西村隆光・沢井利幸・米屋宏志・森重祐子 (2003). 市場出荷子牛の発育性・商品性の向上 (第3報), 山口県畜産試験場研究報告 18号, 31-38.
- 25) 元林浩太 (2008). 北陸版 稲発酵粗飼料・大麦生産利用技術マニュアル Vol.6, <http://narc.naro.affrc.go.jp/inada/wcs/manual/m06a.pdf> [2014年8月参照].
- 26) 長滝岳 (2009). 酪農家から見た細断型飼料イネの現地での適用について, 平成20年度飼料イネの研究・普及に関する情報交換会資料, 畜産草地研究所, 那須塩原市, 57-62.
- 27) 日本規格協会 (2004). 二次元コードシンボル - QRコード - 基本仕様, <http://www.webstore.jsa.or.jp/webstore/Com/FlowControl.jsp?lang=jp&bunsoId=JIS%20X%200510%3A2004&dantaiCd=JIS&status=1&pageNo=1> [2014年8月参照].
- 28) 日本草地学会編 (2004). 草地科学実験・調査法, 図書印刷, 東京, 304-306.
- 29) 日本草地畜産種子協会 (2011). 公共牧場機能強化マニュアル, 1-12.
- 30) 日本草地畜産種子協会 (2012). 稲発酵粗飼料の流通基準, <http://souchi.lin.gr.jp/pdf/news20120119.pdf> [2014年8月参照].
- 31) 野口政志 (2009). 公共牧場の役割と今後の利活用の促進について, 牧草と園芸 57, 1-5.
- 32) 農業・食品産業技術総合研究機構 (2006). 日本飼養標準・乳牛 (2006年版), 中央畜産会, 東京, 46-49.
- 33) 農林水産省 (2010). 新たな食料・農業・農村基本計画, 農林水産省, 東京, http://www.maff.go.jp/j/keikaku/k_aratana/pdf/kihon_keikaku_22.pdf [2014年8月参照].
- 34) 農林水産省 (2012a). 第86次農林水産省統計表, 農林統計協会, 東京, 142-143.
- 35) 農林水産省 (2012b). 平成24年度版 食料・農業・農村白書, 農林水産省房統計部, 58-67, 農林統計協会, 東京.
- 36) 農林水産省 (2012c). 公共牧場をめぐる情勢, 農林水産省生産局畜産振興課, 東京, http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kikaku/lin/1_hosin/pdf/1205boku_jousei.pdf [2013年7月5日参照].
- 37) 農林水産省 (2013a). 平成25年度版 食料・農業・農村白書, 農林水産省房統計部, 農林統計協会, 東京, 233-235, 281-282.
- 38) 農林水産省 (2013b). 畜産物生産費統計, 農林水産省, 東京, http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/noukei/seisanhi_tikusan/ [2014年8月参照].
- 39) 農林水産省 (2013c). 戸別所得補償制度申請面積 (2013年10月15日), 農林水産省統計部, 東京, http://www.maff.go.jp/j/seisan/jyukyuu/komeseisaku/pdf/25sinki_1015.pdf [2014年8月参照].
- 40) 農林水産省 (2014a). 牛のトレーサビリティ, 農林水産省安全局畜産安全管理課, 東京, <http://www.maff.go.jp/j/syouan/tikusui/trace/> [2014年8月参照].
- 41) 農林水産省 (2014b). 口蹄疫に関する情報, 農林水産省消費・安全局動物衛生課, 東京, http://www.maff.go.jp/j/syouan/douei/katiku_yobo/k_fmd/index.html [2014年8月参照].
- 42) 農林水産省 (2014c). 飼料の適正使用について, 農林水産省安全局畜産安全管理課, 東京, <http://www.maff.go.jp/j/syouan/tikusui/siryoo/pdf/chikusan.pdf> [2014年8月参照].
- 43) 農林水産省 (2014d). 平成25年産新規需要米の取組計画認定状況, 農林水産省生産局農産部穀物課, 東京, http://www.maff.go.jp/j/seisan/jyukyuu/komeseisaku/pdf/25sinki_1015.pdf [2014年8月参照].
- 44) 及川棟雄 (1997). 公共牧場が果たす役割—現状からの新しい発展—, 畜産戸サルタント, 33, 10-14.
- 45) 大谷隆二 (1993). 農業生産粗大物質の重量センシング技術, 北海道農業試験場年報, 39-41.
- 46) 応用統計ハンドブック編集委員会 (1978). 応用統計ハンドブック, 要賢堂, 東京, 91-95.

- 47) 佐藤節郎(2010). 飼料イネ・飼料ムギの二毛作体系, 平成 21 年度飼料イネの研究と普及に関する情報交換会, 畜産草地研究所, 35-41.
- 48) 佐藤富雄 (2010). 宮城県における稲発酵粗飼料の広域的収穫調製と流通, 平成 21 年度飼料イネの研究・普及に関する情報交換会資料, 畜産草地研究所, 那須塩原市, 59-66.
- 49) 佐藤義則 (1989). 公共牧場の活性化と広域利用, 東北農業研究, 42, 363-364.
- 50) 志藤博克・橋保宏・川出哲生 (2009). 汎用型飼料収穫機による飼料イネの収穫調製, 農機誌 71 (5), 4-8.
- 51) 高野睦夫・松永光司 (2010). 感熱紙の記録条件, 電子通信学会誌 59 (8), 483-489.
- 52) 丹比邦保・熊井清雄・福見良平 (1984). 稲の飼料価値とその利用, 畜産の研究 38, 1235-1241.
- 53) 畜産草地研究所 (2013). ダイレクト収穫による飼料用稲麦二毛作技術マニュアル, 畜産草地研究所, http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/direct2013.pdf [2014 年 8 月参照].
- 54) 畜産大辞典編集委員会(1992). 畜産大辞典, 養賢堂, 東京, 685-688.
- 55) 梅田直円 (2004). 牛の背線高・体重測定システム, 農業機械学会誌 66 (3), 25-26.
- 56) 内田治 (2009). EXCEL による統計解析とグラフの活用, 東京図書, 東京, 110-123.
- 57) 浦川修司 (2003). 飼料イネ収穫と機械, 農機誌 65, 9-13.
- 58) 浦川修司 (2010). アンケート調査からみたこの 10 年間の WCS 用飼料イネ研究と普及の経緯, 平成 22 年度飼料イネの研究・普及に関する情報交換会資料, 畜産草地研究所, 那須塩原市, 63-76.
- 59) 浦川修司 (2012). 水田から生産される飼料作物の広域流通の実態と展望, 日草誌 58, 48-52.
- 60) 浦川修司(2014). 飼料イネと飼料用米の今後の展望, 食料農業工学会誌 76, 365-370.
- 61) 浦川修司・吉村雄志 (2003a). 飼料用カッティングロールベアラの開発, 日草誌 49, 43-48.
- 62) 浦川修司・吉村雄志(2003b). 飼料イネ用自走式ベールラッパの開発, 日草誌 49, 248-253.
- 63) 浦川修司・吉村雄志・山本泰也・小出勇 (2003). 飼料イネロールベアラのライムギ, オオムギ, ライ小麦への適用性, 日草誌 49, 510-513.
- 64) 山本嘉人 (2013). 公共牧場の活性化にむけて, 日草誌 59, 38-40.
- 65) 山本嘉人・梨木守 (2011). 草地の造成・維持・更新技術, 畜産技術発達史, 畜産技術協会, 東京, 246-253.
- 66) 柳井久江 (1998). 4Steps エクセル統計, オーエムエス出版, 埼玉, 102-104.
- 67) 吉田宣夫・富田道則・武政安一・高橋哲二 (1987). 飼料用稲のホールクロップ利用に関する研究, 日草誌 33, 109-115.
- 68) 吉田宣夫 (2012). 水田活用による飼料の自給率向上と持続的畜産のために, 日草誌 58, 32-36.
- 69) 全国和牛登録協会 (2004). 黒毛和種正常発育曲線, 全国和牛登録協会, 京都, 1-36.

Development of an Information Management System for the Distribution of Round Bales and a Technique for the Growth of Grazing Cattle by Using a 3D Digital Camera

Tamaki KIDA

Grassland Management Research Division,
NARO Institute of Livestock and Grassland Science, Miyota, 389-0201 Japan

Summary

The livestock industry is cyclical and dependent on agriculture for feed; however, many dairy farmers are dependent on imported feed. Recently, the price of imported feed has soared, resulting in an increase in the burden of dairy farms. Therefore, the importance of domestic feed has increased. The government has established a goal of achieving 100% self-support via coarse feed in 2020. To achieve this goal, practical use of paddy fields and grasslands is important. Therefore, the purpose of this study was to develop a feed distribution system and traceability technique for animal feeding management, in order to improve the feed self-sufficiency rate. For the feed distribution technique, a database are developed allows broad information of cultivation history to promote the distribution standard of round bales of whole crop rice and whole crop wheat, which are widely used as commercial feed. For animal feeding management, a 3D digital camera was used to measure the growth of grazing cattle.

Whole crop rice grown in paddy fields is preparation for round bales. Circulation use of round bales is increasing with the whole crop rice production expansion. Then, a production history managerial database system was established. The database was composed of field information, cultivation information, and field conditions at the time of harvest. The database system can be operated using a personal computer and a handy terminal (HT). During harvest, the HT was used to read the QR code on the information sheet for recording field conditions. Then the cultivation history data and QR code was printed a label using a mobile printer and printed label stuck on the round bales. With respect to the harvest of whole crop wheat, the time required for the operation of this system was 5% of the total time required for harvest only, and the measurement time was about 15 seconds. The information printed on the label, which was exposed to outdoor conditions, was readable for a year. Management of the round bales of whole crop rice and whole crop wheat was conducted using the production history managerial system.

It is important to measure the mass of the round bales for the quality control of feed. Therefore, a mass measurement system with a self-propelled bale wrapper was developed for the round bale of whole crop rice. This system consisted of a hydraulic pressure sensor, an oil temperature sensor, and mass analysis equipment. The measuring process involved mounting a round bale on a turntable and measuring its mass by using the hydraulic pressure sensor by raising and lowering the turntable. This equipment can be used to measure the mass of round bales at the bale-wrapping operation. With the developed in-vehicle type measuring device, it became measurable in the accuracy of 5 kg about the mass of round bale of the range up to 400 kg. Then mass of a round bale on a printed label was attained by combining the measuring device and the production history management system, which was then stuck on the bale.

Promotion of grazing is important in order to use grasslands practically. However, in prefectures other than Hokkaido, growing cattle graze in public pastures. Recently, the capacity of public pastures has decreased, and there are a lot of unused grasslands. Therefore, livestock management engineering was developed to promote the use of public pastures. In

this study, the wither height of cattle in public pastures was estimated using 3D digital photographs with an image analysis technique. The 3D photographs of a cattle's side were used for the estimation of wither height. The object distance for the cattle was 3 to 5 m, and the camera height was 160 cm. Time required for the estimation of wither height was 3.5 minutes per animal. The actual wither height of cattle was correlated with wither estimation for both Holstein cattle ($r = 0.67$) and Japanese Black beef cattle ($r = 0.92$). The estimated wither height and weight of cattle were also correlated for both Holstein cattle ($r = 0.55$) and Japanese Black beef cattle ($r = 0.83$). These results indicate that 3D image analysis is effective for evaluating and recording the growth of grazing cattle in public pastures.

Key words: whole crop rice, 3D digital camera, grazing cattle, round bale

© 2016 NARO Institute of Livestock and Grassland Science

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced without the permission of the copyright holder.

Published by Institute of Livestock and Grassland Science,
National Agriculture and Food Research Organization (NARO)
Ikenodai 2, Tsukuba, Ibaraki 305-0901 Japan

編集委員会事務局

企画管理部情報広報課

新谷 成正

飛鳥井可奈子

那須企画管理室連絡調整チーム

和田 努

本研究報告から転載、複製を行う場合は、農研機構畜産草地研究所の許可を得て下さい。

※農研機構は、国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構のコミュニケーションネーム（略称）です。

平成 28 年 3 月 印刷

平成 28 年 3 月 発行

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構

畜産草地研究所

〒305-0901 茨城県つくば市池の台2

TEL 029-838-8600(代)

FAX 029-838-8606

印刷所 松枝印刷株式会社

(目的)

第1条 畜産草地研究所研究報告及び畜産草地研究所研究資料への投稿については、刊行物著作権取扱規程（14規程第56号）に定めるもののほかこの要領の定めるところによる。

(投稿者の資格)

第2条 投稿者は原則として、畜産草地研究所職員（以下「職員」という。）及び流動研究員、依頼研究員、日本学術振興会特別研究員、日本学術振興会外国人特別研究員等（以下「他の職員」という。）とする。

- 一 職員が投稿する内容は、主として畜産草地研究所（以下「研究所」という。）で行った研究とする。
- 二 他の職員が投稿する内容は、研究所で行った研究とする。

(投稿原稿の内容)

第3条 投稿原稿の内容は次のとおりとする。

- 1 畜産草地研究所研究報告（Bulletin of NARO Institute of Livestock and Grassland Science / 略誌名：Bull NARO Inst Livest Grassl Sci）
 - 一 原著論文：研究所において行った試験研究及び研究所以外の者に委託して行った試験研究の成果に関わる論文とする。
 - 二 短 報：一以外の研究の予報、速報などの短報とする。
 - 三 技術論文：新しい技術や技術の組立、実証などを主体とする報告。
 - 四 総 説：畜産草地研究に関わるものとする。総説は投稿のほか、編集委員会が依頼したものを含む。
 - 五 学位取得論文：研究所において主として行った試験研究による学位取得論文とする。
- 2 畜産草地研究所研究資料（Memoirs of NARO Institute of Livestock and Grassland Science / 略誌名：Mem NARO Inst Livest Grassl Sci）
調査資料・技術資料・研究資料：研究所において行った試験研究及び研究所が研究所以外のものに委託して行った試験研究のうち、学術的・産業的に有用な未発表の資料とする。

(原稿の執筆)

第4条 原稿の執筆にあたっては、別に定める畜産草地研究所研究報告及び畜産草地研究所研究資料執筆要領（13畜草B第44号）に基づくものとする。使用する言語は日本語又は英語とする。

(原稿の提出)

第5条 次の手続きにより原稿及び原稿提出票を事務局に提出する。

- 一 職員は原稿提出票に必要事項を記載し、所属研究領域長等の校閲を受ける。
- 二 他の職員は原稿提出票に必要事項を記載し、所属研究領域長等の校閲を受ける。

(受付)

第6条 原稿及び原稿提出票を事務局が受け取った日を受付日とする。受理日は編集委員会の審査の結果、掲載が妥当と認められた日とする。

(審査)

第7条 編集委員会は次の手続きにより論文を審査する。ただし、学位取得論文については審査を省略することができる。

- 一 編集委員会は論文の内容により審査員正副をそれぞれ1名決定し、論文審査を依頼する。審査員は研究所内及び研究所外の研究者等とし、その氏名は公表しない。
- 二 審査員は論文審査票により審査を行う。また必要に応じて指摘事項を書き出し提出する。
- 三 事務局は審査員と著者の間のやり取りの対応にあたる。
- 四 編集委員会は審査員の審査結果を参考にして掲載の可否を判断する。
審査の内容によっては著者に原稿の訂正を求めることができる。
- 五 著者は審査結果を受領後、編集委員会が指定する期日までに修正原稿を事務局に提出する。

(校正)

第8条 著者による校正は原則として初校のみとする。校正は誤植の訂正程度にとどめる。やむを得ず大きな変更等を行う場合には編集委員会の承認を得なければならない。

(別刷り)

第9条 別刷りは次のとおりとする。

- 一 100部とし、筆頭著者が代表で受け取る。
- 二 別刷りの追加を希望する場合は研究費負担で印刷する。

附 則

この規定は、平成14年4月1日から施行する。

附 則

この規定は、平成15年10月1日から施行する。

附 則

この規定は、平成18年4月1日から施行する。

附 則

この要領は、平成20年4月1日から施行する。

附 則

この要領は、平成23年4月1日から施行する。

附 則

この要領は、平成23年8月8日から施行する。

附 則

この要領は、平成27年4月1日から施行する。



農研機構