

野外共同作業者の作業量把握のための 空中固定式バルーン観測システム

- 茨城県真壁郡大和村青木地区の草刈り共同作業を事例として -

木村吉寿*・松森堅治*・筒井義富**・上村健一郎***

目 次			
緒 言	31	2 データの解析	35
観測システムの概要	32	3 解析精度	35
1 システムの特徴	32	4 作業者別の実作業時間と移動時間の解析 ...	36
2 システムによる解析	32	5 作業者別の作業範囲の解析	36
3 システムの構成	33	結 言	36
観測システムの設置手順	33	参考文献	37
草刈り共同作業の観測結果	34	Summary.....	38
1 調査対象地区の概要	34		

緒 言

農村地域の環境は、地域のコミュニティ等による自主的な管理で支えられてきた。しかし、近年では過疎化・高齢化・混住化等が進行し、コミュニティの機能が低下して、道路や水路脇の草刈り作業や水路の泥上げといった共同作業が充分なされず、地域環境の荒廃化が危惧されている。加えて、担い手農家への農地利用集積により、地域の環境管理の負担が一部の農家に集中してしまい、人手不足により管理ができないといった事態も懸念される。このため、地域の良好な環境を持続的に維持管理する体制を整備することが緊急の課題となっており、その実現に向けて、管理実態を把握する必要がある。

しかし、そのような地域の管理の一つとして長年行われてきた草刈り作業に関して、これまで、アンケート調査やヒアリング調査による草刈り頻度を調査した事例（齋藤ら，2000）や、作業員一人が一定範囲内で草を刈る状況を計測した事例（木村ら，1994）等があるものの、多数の作業員が入り混じって行う共同作業の状況は詳細に把握されていない。

他方、動力刈払い機（以下「刈払機」とする）による

作業事故は、刈り刃の接触による事故、刃先の破損による事故、空き缶や飛び石等の事故など多様であるが、増加傾向にあることが指摘されている（有田ら，1997）。

複数の作業員が入り混じって行われる草刈り共同作業は、作業員本人以外の他者の動向にも注意を払う必要がある。単独の作業に比べて危険性が高まる。ボランティア等による草刈り作業の支援も増えつつある中、より安全で効率的な作業方法を確立することが望まれる。このため、集団作業における各作業員の作業状況を定量的に把握できる観測システムがあれば有益であると考えられる。

そこで、本研究では、野外の共同作業を対象として、多数の作業員の位置、作業内容の判別、実作業時間、作業範囲といった作業状況に関するデータを詳細かつ定量的に把握することを目的に、空中固定式バルーン観測システムを開発し、草刈り共同作業の観測を行って、本システムの有効性を検証したので報告する。

なお、バルーンを利用した既往研究（齋藤ら，1986）、（宮下ら，1998）には、草地や稲麦の圃場を対象にカラー写真で空中撮影し、ある時点の静止画画像の解析から、作物の生育状況の判別や面積の測定を行った事例はあるが、動画による連続的な作業の解析事例はない。

本研究は（独）農業工学研究所の交付金プロジェクト研究「農業の持つ多面的機能の環境勘定による総合評価」の一環で行われた成果の一部である。実施にあたり、協力して頂いた大和村役場、青木地区の方々へ感謝の意を表します。

* 農村環境部景域研究室，** 農地整備部

*** 元農村環境部景域研究室

平成17年2月7日受理

キーワード：空中観測，バルーン，動画，野外共同作業，

草刈り作業，作業量

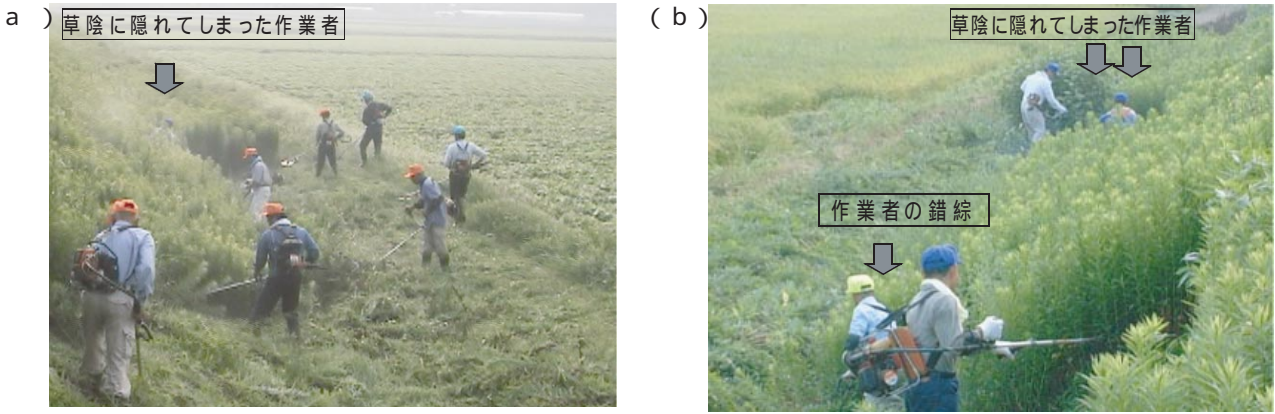


Fig.1 地上からの観測で確認できない作業状況; (a), (b)
Unidentified working situation because of the observation on the ground level; (a), (b)

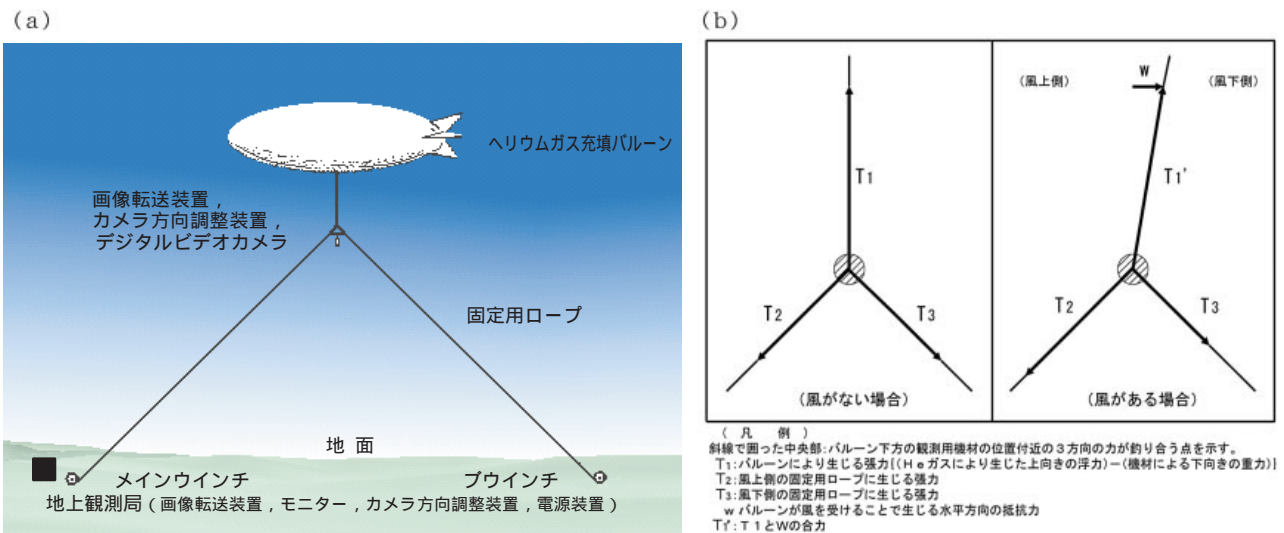


Fig.2 本システムによる観測用機材の設置状況; (a) 全体図, (b) 空中の観測用機材への風の力学的な影響
Situation of setting up equipments for the observation by this system; (a) whole image, (b) dynamical wind impact on equipments for the observation in the sky air

観測システムの概要

1 システムの特徴

草刈り共同作業のように複数の作業者が入り混じって行う野外共同作業を地上から観測すると、Fig.1; (a), (b) の写真画像に示されるように、作業者が草陰に隠れたり、錯綜するなど死角を生じる。これを解決するためには複数のカメラの設置が必要で、その結果、解析作業が膨大となる上、作業状況や作業位置を精度良く観測することは困難と予測される。また、作業者の位置を特定するためにGPS受信機の装着や個別に刈る範囲を指定する等の方法も考えられるが、それらは作業者の行動を制約することになり、集団行動の本来の特徴が把握できず、実際の作業量にも影響が出る可能性がある。そこで、これらの制約を少なくするために上空から観測することとした。

本観測システムは、ヘリウムガスを充填して上昇させたバルーンと地上2点からの固定用ロープで空中に固定したデジタルビデオカメラにより作業状況を上空より観

測して、野外での複数の作業者の行動を詳細に分析するためのシステムである (Fig.2 (a) 及びFig.3)。なお、今回使用した観測用機材は、にちなんエイシー (株) の業務用機材を用いた。

固定式バルーンでは、Fig.2 (b) のとおりバルーン下方の観測用機材の位置付近において、バルーンにより生じる張力 T_1 と風上側の固定用ロープに生じる張力 T_2 と風下側の固定用ロープ方向に生じる張力 T_3 が釣り合うことで安定した観測が可能となる。風が吹いた場合でも、風の方向に2点で固定すれば、水平方向の抵抗力 W は風上側の固定用ロープに生じる張力 T_2 に吸収される。このとき、ロープの伸びの変化を微小とみなせば、デジタルビデオカメラの位置はほぼ同じ位置に固定できる。

2 システムによる解析

本システムによる解析の手順をFig.3に示す。まず、Fig.2に示すようにバルーンにより空中に固定したデジタルビデオカメラより作業状況を動画撮影する。次に、

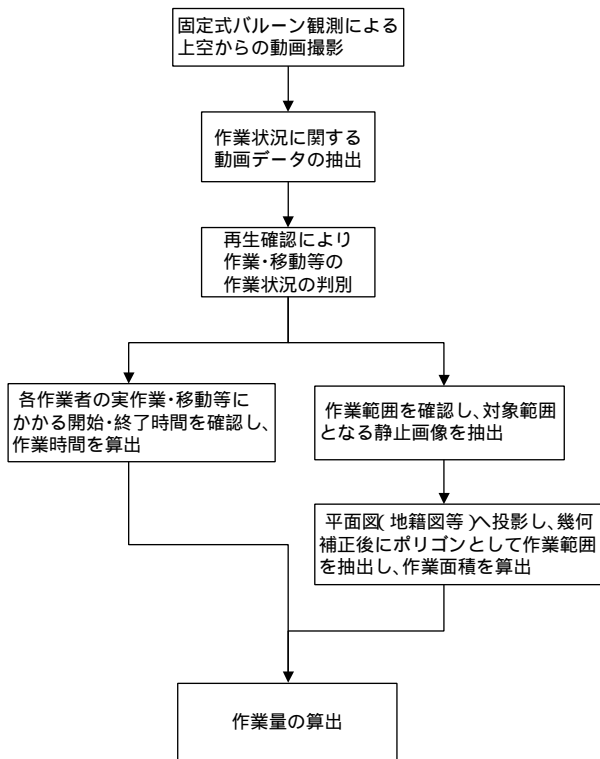


Fig.3 本システムによる解析フローチャート
Analysis flowchart used by this system

調査対象における作業状況に関する動画データを抽出する。続いて、多数の作業者による草刈り作業状況を動画再生（30コマ/秒単位）して作業内容を確認する。その際、各作業者の行動を追跡し、草刈り作業後の画面の色調変化から実作業（調査区域内において草を刈りながら移動する状況）と移動（調査区域内において草を刈らないで移動する状況）の判別を行う。これにより、各作業者の実作業・移動の開始・終了時刻を確認し、作業時間を算出する。一方、各作業者の作業範囲を確認して、作業開始・終了時の静止画像を抽出する。そして、抽出した静止画像を幾何補正して地籍図等の平面図に投影し、作業範囲を抽出して、作業面積を算出する。さらに、作業時間と作業面積から作業量を算出する。今回、動画データの解析には、Adobe社のPremiere 6.0を、静止画像の解析には、ESRI社のArcGIS ver.8.1を使用した。

3 システムの構成

a バルーンの種類

バルーンに充填したヘリウムガスは、化学的に安定しており引火性がなく、1 m³で約1 kgの浮力が得られる。設計上は最大浮力の約60%以下の積載重量を目安に見積もれば、十分な浮力が得られる。

観測で使ったバルーンは、容積は約60m³、重さ約14kg、材質は塩化ビニール製であり、形状は風の抵抗を受けにくい尾翼付き飛行船型である。

b バルーン固定・高度調整用機材

風への安定性を確保するため、風上から風下方向へ2

点で固定かつ高度調整できるバルーン固定・高度調整用機材を用いる。2台の固定・高度調整用ウインチ（メイン・サブ）には、付属の固定用ロープが巻かれており、バルーン下部の部材と接続する。固定用ロープを巻き取るウインチは、浮力を持ったバルーンの高度を自由に調整できる利点がある。また、ウインチを使用するために電源が必要となる。観測で使った固定・高度調整用機材はTable 1のとおりである。

c 空中に固定する観測用機材

バルーン下方の空中に固定する観測用機材は、作業状況を連続的に動画撮影するためのデジタルビデオカメラと画像転送装置（送信機）およびカメラ方向調整装置である。画像転送装置は、観測対象となる作業場所や人の動作を識別できる十分な高度に調整するために使用し、デジタルビデオカメラによる撮影画像データを、地上観測局へリアルタイムに転送する。また、カメラ画角を微調整するために、カメラ方向調整装置を使用する。観測で使った観測用機材はTable 2のとおりである。

d 地上における観測用機材

地上部における観測用機材は、撮影された画像データを受信するための受信機、受信した画像を映し出すモニター及びカメラ方向や画角を調整するためのラジオコントロールシステム（送信機）である。観測で使った観測用機材は、Table 3のとおりである。

観測システムの設置手順

システムの設置手順について、以下に示す。設置にあたっては、バルーンを浮揚させるための待機場所の有無、電柱、電線などの障害物の有無、目的とする調査対象範囲に画角を設定することが可能かどうか等の事前調査が

Table 1 バルーン固定・高度調整用機材
Equipments for fixing balloon and adjusting altitude

機材名	規格
メインウインチ	質量：約75kg, 200V, 巻取速度：27m/min
サブウインチ	質量：約25kg, 100V, 巻取速度：24m/min
固定用ロープ	延長100m当たりの質量：約1.65kg, 2本 5mm, テクミロン製, 全延長250m
電源装置	発電機3kW（ウインチ用）

Table 2 空中に固定する観測用機材
Stationary equipments for the observation in the air

機材名	規格
デジタルビデオカメラ	本体質量：約0.59kg, バッテリー質量：約0.24kg 総画素数107万/レンズ 記録媒体：ミニDVカセット（90分）
画像転送装置	質量：約1kg, 13chFMビデオ画像送信機（無線）
カメラ方向調整装置	質量：約1kg, パンチルト台及び 40MHzラジオコントロールシステム（受信機）

Table 3 地上における観測用機材
Equipments for the observation on the ground

機材名	規格
画像転送装置	13chFMビデオ画像受信機(無線)
モニター	画面サイズ:10インチ
カメラ方向調整装置	40MHzラジオコントロールシステム(送信機)

必要である。また、役場担当者、地元住民への協力の依頼と、場所、日時、目的等の事前説明も必要である。

バルーン等の機材の組み立て

バルーン下部に固定用ロープを取り付ける。次にバルーンにヘリウムガスを充填して、観測用機材を取り付け易い腰の位置くらいで高さを調整して固定する。その後、バルーン下部にデジタルビデオカメラ等の観測用機材を取り付け、動作の確認を行う。バルーンへの機材取り付け、ヘリウム充填作業は、少なくとも3人の作業者がいれば、約2時間程度で組み立てられる。観測では、バルーンの容積約60m³を満たすのに充分なヘリウムガス(7m³入り圧縮ボンベ10本)を準備した。

バルーンの浮揚と高度設定

バルーンにヘリウムガスを充填し、機材を設定した後、固定用ロープを徐々に緩めてバルーンを浮揚させていく(Fig.4)。調査対象とする範囲の真上にバルーンが来るように調整し、撮影状況を地上モニターで確認しながら、高度を上げていく(Fig.5)。その際、実際に撮影範囲内で作業者の動きが確認できる解像度(1ピクセルあたり10~20cm四方程度)を目安に高度調整する。

観測では、高度を調整した結果、カメラの高度は約120mであった。この画角でおよそ120m×90mの画像が撮影できる。なお、この時のバルーンの高度は約140mであった。メインウインチからサブウインチまでの距離は約200mであり、メインウインチから風下側の農道脇にサブウインチを設置した。また、午前7時に草刈り作業が行われるため、観測調査の前日に高度調整を

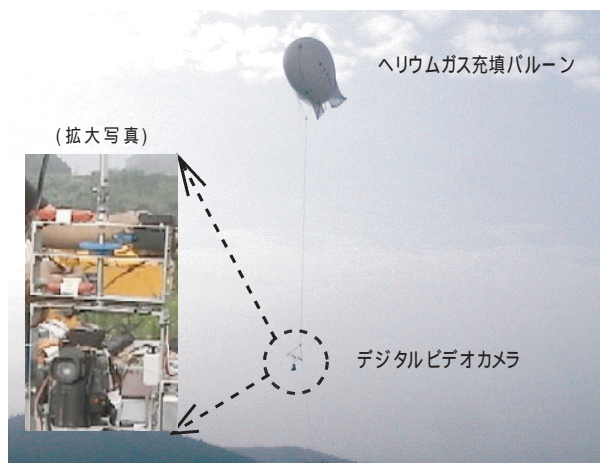


Fig.4 バルーン浮揚状況
Situation of the balloon rising



Fig.5 地上モニターによる撮影範囲の確認
Confirmation of the taking area used by a monitor on the ground

約1時間かけて事前の調整を行った。

カメラ画角の微調整

高度調整の後、バルーン及びカメラが安定した状態で画角の調整を行う。草刈り対象となる調査区域がフレーム内に収まるようカメラの向きを遠隔操作装置によりパーンチルト台を回転させて微調整する。撮影後の解析時にデジタル静止画像を抽出して幾何補正するため、対象範囲をできるだけ歪みの少ない画角中央部に設定する。

動画撮影による観測及び撤収

画角調整後、調査対象区域内の草刈り共同作業を作業開始から終了までの間、動画撮影を行う。

前日に高度調整等の事前調整を行っていたので、観測当日は、草刈り作業開始(午前7時)の約1時間前に準備を始め、バルーンを浮揚させて約10分後には高度設定及び画角調整を終えて観測を開始できた(Fig.6)。

そして、観測終了後はウインチで固定用ロープを巻き取ることによりバルーンを降下させ、ヘリウムガスをバルーンから排出して撤収する。これに要した時間は約1時間であった。なお、今回は観測にあたって、調査者が作業者へ調査対象区域内の作業開始の指示を出すなどの制限を加えていない。

草刈り共同作業の観測結果

開発した空中固定式バルーン観測システムの有効性を確認するため、草刈り共同作業を観測した。

1 調査対象地区の概要

調査対象地区は、茨城県北西部に位置する真壁郡大和村(農業センサスにおける農業地域類型で平地農業地域に分類される)の青木地区を選定した。本地区では、1年に2回(6月と8月頃)、地区住民による草刈り共同作業を実施している。今回、2002年8月25日午前7時



Fig.6 メインウインチ付近の観測状況
Situation on the observation near the main winch

より行われた草刈り共同作業について、本システムによる観測を実施した。調査時の天候は薄曇りであり、地上において無風に近い状況であった。なお、調査対象区域内の刈払機による草刈り作業者は10人であった。

観測を行った場所は、地区中央部の道路路面を対象とした。法面は約 38° の傾斜があり、セイタカアワダチソウを主とする群落が繁茂していた。繁茂状況は、セイタカアワダチソウの草丈約83cm（7サンプルの平均値）、密度約91本/ m^2 （3箇所での $1m^2$ の枠内における本数の平均値）であった。

2 データの解析

観測後、撮影したデジタル動画データの解析を行う。まず、動画編集用ソフトにより作業状況を確認する。そ

して、コマ送りで詳細に判別することで、各作業者の草刈り作業の開始・終了時刻を明らかにし、これにより各作業者の実作業時間及び移動時間を算出する。

次に、各作業者の作業開始・終了時刻における静止画像を抽出し、地籍図（縮尺1/1000）に幾何補正して投影することで作業者別の作業範囲を区分けする。解析上の開始時刻はバルーンを浮揚させ、画角調整を終えた時刻とした。さらに、今回は調査区域の作業面積と草刈り作業に要した実作業時間（刈らずに移動する時間を含まない）から、全体の草刈り共同作業の作業量を算出する。

3 解析の精度

本システムによる観測では、刈払機の回転刃が左右に振れ、草を倒しながら作業者が移動していく様子を動画データとして取得することができた（Fig.7）。

動画データの画像サイズは 720×480 ピクセルである。動画データの中から各作業者の草刈り作業の開始及び終了時の幾何補正画像（Fig.10）は、延べ全作業時間1時間5分54秒に対して合計41枚作成した。次に各画像の地上解像度を計測すると、Fig.8のとおり、幾何補正後の平均地上解像度は、1 pixelあたり約 $16.4cm \times 18.8cm$ であった。

また、カラム（X）の標準偏差は0.062cm（変動係数0.38%）で、ロウ（Y）の標準偏差は0.149cm（同0.79%）と非常に小さいため、精度よく幾何補正を行うことができた。加えて、観測にあたって作業者に特別な指示を与える必要がないため、非常に近い草刈り作業の状況が観測できたと考えられる。

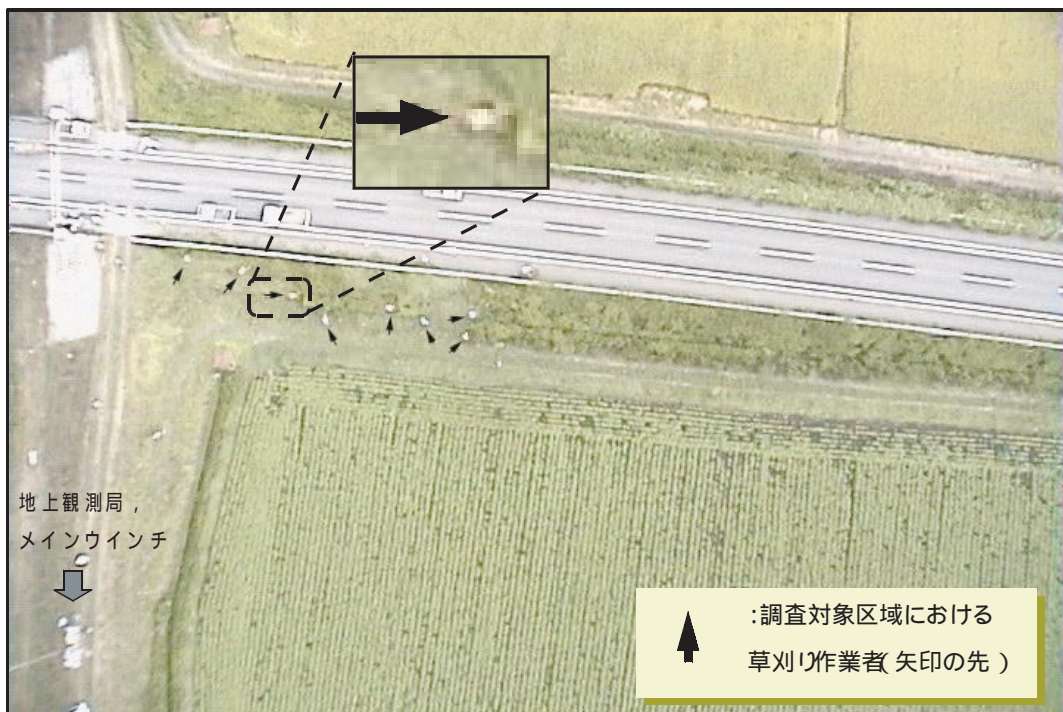


Fig.7 本システムによる草刈り作業状況を示す静止画像（幾何補正前： 720×480 ピクセル）
Still picture of weed-mowing status taken by this system (before geometrical correction : 720×480 pixel)

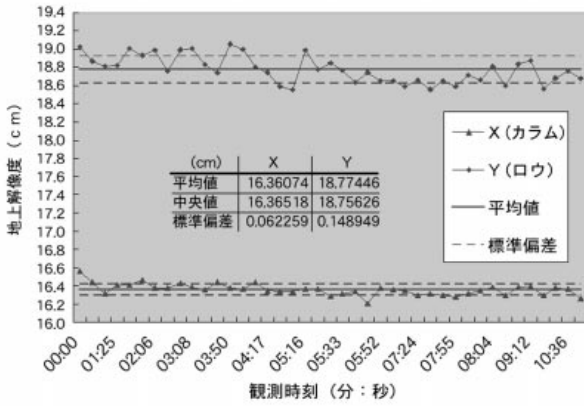


Fig.8 幾何補正後の1ピクセルあたり画像解像度
Picture resolution on 1 pixel after geometric correction

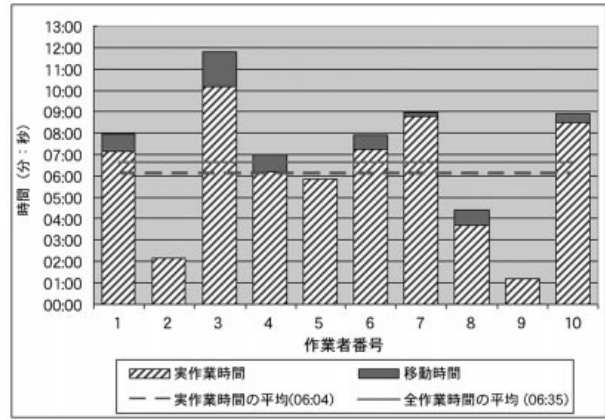


Fig.9 実作業時間と移動時間
Actual working hours and moving hours

4 作業員別の実作業時間と移動時間の解析

本システムにより得られた動画データを再生し解析した結果、Table 5のとおり、調査区域内において10人の作業員による草刈り作業の実作業時間及び移動時間を詳細に把握することができた。これより、約12分間に調査区域内には10人の作業員が入り混じって草刈り作業を行い、実作業の作業回数(刈り始めから刈らずに移動するまでの作業を1回とカウント)は延べ23回で、作業員別では1~4回/人であった。また、Fig.9のとおり、作業員別の実作業時間と移動時間を判別することができ、作業中の移動ロスを明確化することができた。調査対象区域内での草刈り共同作業の1人あたり平均実作業時間は6分4秒で、移動ロスを含めた1人あたり平均全作業時間は6分35秒であることが判った。

5 作業員別の作業範囲の解析

本システムにより、動画データから各作業員が連続して行う草刈り作業の開始及び終了時の静止画像を抽出し幾何補正して、画像の色調変化を確認することで、各作業員の作業範囲を特定できた(Fig.10)。また、作業員

の移動軌跡を追うこともでき、共同作業の詳細な解析が可能となる。

今回の調査区域全体の作業面積は、約473m²と算出でき、調査対象区域内において、計10人の作業員が、延べ実作業時間1時間00分42秒(Table 5)で草を刈っていたことから、草刈り共同作業の調査区域全体の一人当たりの有効作業量は約468m²/hと算出できた。

なお、この算定には、途中の移動時間、準備、片付け等に要する間接的な作業時間は含まれない。

以上の結果から、本システムは、地上観測では困難であった草刈り共同作業の作業状況を詳細に把握するための有効な観測システムであることが確認された。

結 言

野外共同作業を対象として、多数の作業員の位置、作業員の判別、実作業時間、作業範囲といった作業状況に関するデータを詳細かつ定量的に把握するため、固定式バルーンを利用した観測システムを開発し、草刈り共同作業を観測し有効性を検証した。結果をまとめると以下

Table 5 本システムによる実作業時間及び移動時間に関する解析結果
Results of analysis on the actual working hours and moving hours used by this system

時刻 作業員番号	作業1回目		作業2回目		作業3回目		作業4回目		実作業時間 C= (bi-ai)	移動時間 d= (ai-bi-1)	全作業時間 c+d
	開始: a ₁	終了: b ₁	開始: a ₂	終了: b ₂	開始: a ₃	終了: b ₃	開始: a ₄	終了: b ₄			
1	00:00	01:14	01:31	04:10	04:39	07:55			07:09	00:46	07:55
2	03:21	05:28							02:07	00:00	02:07
3	00:00	02:06	02:36	08:04	09:12	11:47			10:09	01:38	11:47
4	00:00	04:17	05:08	07:01					06:10	00:51	07:01
5	00:00	05:48							05:48	00:00	05:48
6	01:36	02:53	03:08	03:50	04:01	05:16	05:29	09:29	07:14	00:39	07:53
7	00:54	07:35	07:45	09:50					08:46	00:10	08:56
8	03:33	05:33	05:52	07:01	07:24	07:57			03:42	00:42	04:24
9	07:01	08:10							01:09	00:00	01:09
10	01:25	05:41	06:07	08:00	08:17	10:36			08:28	00:26	08:54
計									1:00:42	05:12	1:05:54

注1: 開始時刻は作業員が刈りながら移動し始める時刻、終了時刻は刈るのを止めて移動し始める時刻
注2: 開始時刻は調査区域内での最初の作業開始時刻を00:00と設定

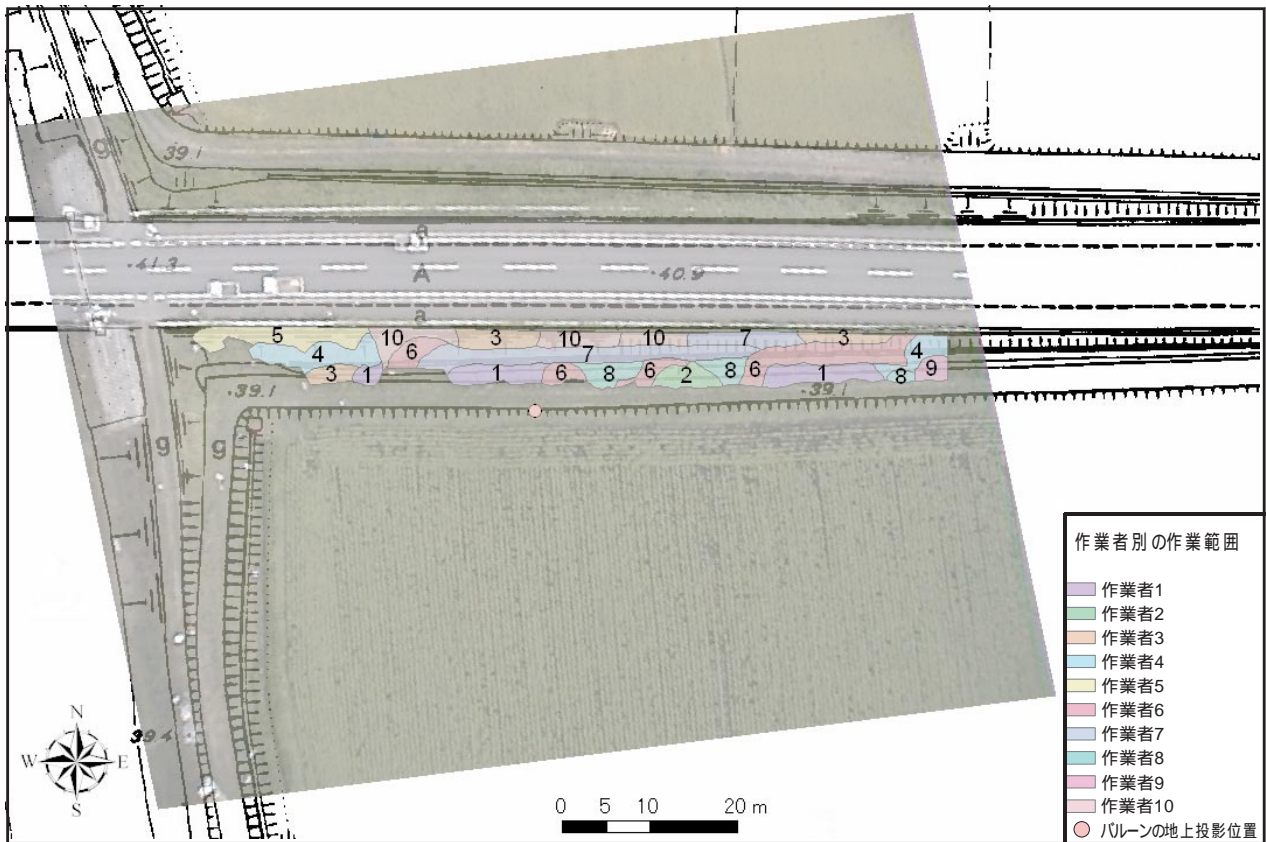


Fig.10 本システムによる作業員別の草刈り作業範囲区分（幾何補正後）

Weeds-mowing area lot depend on each worker used by this system (after geometrical correction)

のとおりである。

本システムにより、地上観測では制約となる計測機器の作業員への装着がなく、草陰や人の錯綜による死角を生じない観測ができた。

動画再生からは、作業員毎の実作業時間や移動時間などが詳細に把握できた。

動画から作成した静止画を幾何補正した結果、位置精度は高く（標準誤差で0.15cm未満）、面積や位置を高精度で把握できた。

静止画の幾何補正画像からは、作業員毎の作業範囲や調査区域全体の一人当たりの有効作業量（約468m²/h）を正確に計測することができた。

これらのシステムを扱う上で、少人数（3人程度）で観測が可能であった。

したがって、本システムは、野外作業を詳細かつ定量的に把握するための有効な観測システムであることを確認することができた。

今回の観測は、平野部で行っており、観測時の上空の風向変化の影響を受けることは少なく、地上2点の固定で問題なく観測ができた。山間部で斜面の跳ね返り等により風向が不安定と予測される場合には、固定用ロープの荷重は増すが地上の固定点を増やすことで、Fig.1(b)と同様の原理で風向の変化にも対処できると考える。

また、ハイビジョンビデオカメラ等の高解像度機器を利用すれば、より広範囲で詳細な作業状況の把握が可能である。

参考文献

- 1) 有田博之・木村和弘（1997）：持続的農業のための水田区画整理，（財）農林統計協会，p.149-151
- 2) 木村和弘・有田博之・内川義行（1994）：急傾斜地水田の畦畔法面の形態と除草作業の実態，農業土木学会論文集，170，p.1-10
- 3) 齋藤元也・高井慎二・秋山侃・芝山道朗・山形与志樹・福原道一（1986）：気球による赤外カラー空中写真を利用した草地の生育調査法，日本写真測量学会講演要旨集，p.99-102
- 4) 齋藤雪彦・中村攻・木下勇・筒井義富・椎野亜紀夫（2000）：中山間農地における生産，居住空間の空間管理作業に関する研究，日本建築学会計画系論文集，527，p.155-162
- 5) 宮下高夫・黒田康晃・桐山隆・源裕・前松伸・北出一郎・国立卓生（1998）：気球を利用した空撮カラー写真による稲麦の生育量推定，石川県農業総合研究センター研究報告，p.1-9

Aerial stationary balloon observation system for finding out the effective field capacity of outdoor cooperative activities

- Case Study of cooperative weeds-mowing in Aoki area Yamato-Village Makabe-District Ibaraki Prefecture -

KIMURA Yoshihisa, MATSUMORI Kenji, TSUTSUI Yoshitomi and KAMIMURA Kenichiro

Summary

Rural environment has been supported by regional community's activity such as cooperative weeds-mowing on a ridge, a canal and a farm road. However, recently depopulation away from the countryside, aging society and rurbanization have been progressing. Therefore, it is one of the problems that how rural environment should be maintain continuously on that situation. Then, only a few studies have been devoted to understanding the actual status of cooperative weeds-mowing, which has been conducted for many years as a regional activity. When cooperative weeds-mowing with dozens of people working with no apparent order was observed in the field, it was difficult to quantitatively understand who was mowing where and how much they were mowing, because some people were working behind the weeds. The purpose of this study is to develop the observation system which analyze the work situation taken by the stationary digital video camera in the sky air, and confirm that the system plays a part in effective means to quantitatively find out the situation of outdoor cooperative activities such as the working area, working hours and effective field capacity.

Keywords : aerial observation , balloon , movie , outdoor cooperative activities , weeds-mowing , effective field capacity