

ドット標本調査法

平成 28 年 3 月 29 日

上倉健司（農林水産省統計部統計企画管理官）

はじめに

農業生産統計における作付面積の把握は、農家からの聞き取り調査（対人調査）により行われる事例が多い。この方法は発展途上国をはじめとして多くの国において行われているが、聞き取りで入手するため数値の妥当性について判断することができないという欠点を有している。聞き取った数値が実態を表していないことは、これまでいろいろな場面で明らかになっている。また、作付面積調査を行う頻度は、1年に複数回行う必要があるが、年に1回ですら実施できていない国が多いことが実状である。こうした中で、Google Earth の出現を契機としてドット標本調査法が開発され調査対象地域全体の作付面積が手軽に、かつ、費用をかけずに把握できるようになった。そのための Excel マクロも開発され誰でも簡単にできるようになった。これまでの生産統計においては、面積調査の実施が大きな障害となっていたが、この障害が一気に取り払われることとなった。

ドット標本調査法による面積調査は、土地を対象とする調査（対地調査）で、母集団編成は不要、属性調査法のため変量調査法に比べて簡単かつ非標本誤差が生じ難いという特色を有している。

また、ドット標本調査法は面積調査に限らず単収調査その他の調査においても広く威力を発揮する統計手法である。

この資料は、ドット標本調査法の開発に関連してこれまで国内外の本、雑誌、会議等で発表してきた資料や各国の政府統計職員を対象とした研修資料等から、ドット標本調査のエッセンスを取りまとめたものである。多くの人にドット標本調査法に触れる機会を提供することを目的にしている。さらに、この資料を読まれた方々がドット標本調査法の素晴らしさを理解し、併せてドット標本調査法が有する多くの可能性を発見していただけることも期待している。

この資料が、統計調査手法の検討や海外技術協力等における統計調査手法の普及活動を進めていく上での参考になれば幸いである。

目次

はじめに

目次

第 1 章 ドット標本調査法

1	ドット標本調査法 の概念	1
2	開発された Excel マクロ でできることの事例	
(1)	対象地域へ任意の数のドットを配置	2
(2)	対象地域内の水田へ任意の数のドットを配置	2
(3)	面積を測るための 2 次元定規としての利用	3
3	ドット標本調査法 の特徴	
(1)	伝統的理論に則った効率的かつ威力ある手法	3
(2)	属性調査と変量調査に対応可能	4
(3)	希少作物の作付面積の把握	5
(4)	作付面積調査の際の混作への対応が可能	5
(5)	本地、畦畔別面積の調査が可能	5
(6)	複雑な形状や傾斜地であっても正確な面積調査が可能	6
(7)	調査員は少人数でも、また、誰でも調査が可能	6
(8)	何回でも調査が可能	6
(9)	ドット標本調査法の将来的発展の可能性が大	6

第 2 章 ドット標本調査法を使った面積調査

1	面積調査 の概念	8
2	調査 の手順	
(1)	手順 1 Google Earth 上への標本ドットの配置	9
(2)	手順 2 Google Earth 上での準備調査	11
(3)	手順 3 圃場での現地調査	11
(4)	手順 4 面積の推計	12

3	2回目以降の調査	12
4	ドット標本調査に必要な標本数	12
5	統計調査組織の対応	16
6	Google Earth 上での準備調査の結果事例	
	(1) タイにおける準備調査	16
	(2) ラオスにおける準備調査	17
	(3) 東ティモールにおける県面積調査	18
7	2次元定規として利用した場合の面積調査	19

第3章 ドット標本調査法を使った単収調査

1	単収調査におけるドット標本調査法の活用方法	21
2	調査の手順	
	(1) 手順1 坪刈り標本箇所抽出	22
	(2) 手順2 坪刈り、脱穀、乾燥、計量	23
	(3) 手順3 対象地域における平均単収の推計	23

第4章 ドット標本調査法を使った米生産量調査の事例

1	作付面積調査	24
2	単収調査	25
3	生産量調査	26

第5章 ドット標本調査法の不思議

1	目標精度以上の精度	27
2	ドット標本調査と実測調査	28

第6章 ドット標本調査法及び類似手法の海外での普及状況

- 1 海外におけるドット標本調査法類似手法の状況……………29
- 2 海外技術協力活動によるドット標本調査法の普及状況……………30

第7章 ドット標本調査法に関するよくある質問…………… 31

終わりに……………35

参考資料……………36

第 1 章 ドット標本調査法

本章では、ドット標本調査法の具体的な説明は第 2 章以下で説明することとし、初めにドット標本調査法を説明する。さらに、ドット標本調査法を実施しやすくするために開発された Excel マクロの基本的な機能と、このようなドット標本調査法が有している様々な特徴を記述する。

1 ドット標本調査法

この資料において、ドット標本調査法は、地図上（特に Google Earth 上）に無作為に点（ドット）を置き、ドット又はドット周辺を調査する手法とする。

本来的には、「面積を点（ドット）で調査する属性調査法」がドット標本調査法の原点であるが、この他に「ドット周辺を変数調査の標本とする手法」もドット標本調査法として取り扱うこととする。

ドット標本調査法を例えば水稲の作付面積調査に適用した場合は、Google Earth の地図上に格子状にドットを置き、水稲が作付けられている地点に置かれたドットの出現割合から、地域全体の水稲の作付面積を推定することとなる。

また、ドットの置かれた地点を基準にして坪刈り箇所を抽出すれば、既にその地点は水稲の作付面積確率比例抽出されたことになっているので簡単に単収の推計が可能となる。

なお、本調査法の名称に「標本」という単語が含まれているのは、地図上に置いたドットそのものが標本地点という考え方をとっているからである。一般的な統計手法のように、標本抽出に先立って母集団を編成し、そこから標本を抽出しているものではない。

(注) 属性調査は、世論調査の手法でもある。例えば抽出された人（＝標本）に対して、内閣を支持するか否か（＝属性）を確認し、国民の内閣支持率を出すというものである。同様に、ドット標本調査法による作付面積調査の場合も、抽出された地点（＝標本）に対して、水稲が作付けされているか否か（＝属性）を確認し、全国の水田作付け率を出すというものである。

2 開発された Excel マクロでできることの事例

ドット標本調査法の本論に入る前に、ドット標本調査法のために開発された Excel マクロを使って行うことができる事例を以下の（１）、（２）及び（３）で簡単に説明する。なお、本 Excel マクロは 6 つの数値を入力するだけで、Google Earth 上にドットが等間隔、格子状に配置されるようになっている。

（１）対象地域へ任意の数のドットを配置

6 つの数値を入力することによって、任意の地域に任意の数のドットを Google Earth 上に置くことができる。例えば、ある国の国土面積及びドット数 1,000 個並びに国土範囲を入力すれば、国内に 1,000 個のドットを置くことができる。

（２）対象地域内の水田へ任意の数のドットを配置

ある県の水田面積 400km² 及びドット数 200 個並びにその県の地域範囲を入力すれば、その県内 400km² (40,000ha) の水田に 200 個のドットを置くことができる。

（３）面積を測るための 2 次元定規としての利用

面積 0.01km² 及び 0.01km² に配置するドット数 1 個並びに地域範囲を入力すれば、地図上に 0.01km² (1ha) に 1 個の割合でドットを置くことができる。このことにより、測りたい地域の範囲内に落ちたドット数を数えることによって、その地域の面積を計測することができる。

（注 1）（３）の 2 次元定規としての利用に関しては、一般の定規が目盛りの数を数えて長さを測る 1 次元定規と呼べるのに対して、この方法は、ドットの数数を数えて面積を測る 2 次元定規と呼ぶことができる。この原理は点格子板による面積計測手法として既に行われている手法と同じである。

（注 2）6 つの数値とは、次の①～⑥の 6 つである。

- ・ドットの密度を決定する数値
 - ①任意の面積
 - ②①の面積内に配置するドット数
- ・ドットを配置する長方形の範囲を決定する数値

- ③最北端より北側の緯度
- ④最西端より西側の経度
- ⑤最南端より南側の緯度
- ⑥最東端より東側の経度

(注3) ドットが表示される範囲は、入力された緯度、経度に囲まれた長方形の範囲となるが、対象地域内には、任意の数のドットが配置される(第2章の2の(1)参照)。

(注4) Excel マクロは誰でも自由に利用することが可能となっている。入手されたい方は、上倉健司(kkamikura@hotmail.com)まで連絡されたい。

3 ドット標本調査法の特徴

(1) 伝統的理論に則った効率的かつ威力ある手法

ドット標本調査法は、古典的な調査手法の一つである。また、効率的に調査を行うことができる。ドット標本調査法は、①標本抽出のための母集団編成を必要としないこと、②圃場別にも面積確率比例抽出されること、③面積調査では属性調査として実施され、調査が簡単になること、④集計、推計、精度計算が簡単なこと、⑤したがって非標本誤差が生じ難いこと等の理由から、作物統計調査にふさわしい手法とされていた。しかし、Google Earth が出現するまでは実践することは困難であった。実践するためには、対象地域の地図の上に必要数のドットを一定間隔で配置することができ、当該ドットの場所への行き方を調査員に示すことができる地図を整備することが必要であったが実用的には不可能であった。しかしながら、Google Earth の出現によって、これらのことを簡単に実践することができるようになった。しかも、Google Earth は、森林、湖、都市、道路などの土地利用をパソコン上で判断することができるので、実際の調査に当たっては耕地と思われる箇所だけを現地調査すればよく、仮に標本ドット数が1万個であっても、耕地率が5%であれば現地調査の数を500箇所程度まで縮小することが可能となっている。古典的な調査手法が、最新の情報技術と結びついて威力ある新しい形のドット標本調査法が誕生したということができる。

(注) 参考として、ドット標本調査法と同様の考え方を述べている統計学者を2名紹介する。

1 人目は、イギリス人の統計学者の Frank Yates で、著書「Sampling Methods for Censuses and Surveys、1949 年」の中で、次のように述べている。

- ・ 地図上に無作為に点を置くことができれば、対象地域内に落ちたポイントの確率は明らかにその面積に比例する。したがって、地図上に無作為に置かれた点を選べば、面積確率比例抽出することができる。(p35)
- ・ 面積調査に必要なことは、該当する土地に落ちているポイントの占める割合を調べることである。これは作付面積調査には魅力的な手法で、面積を実測する必要がなくなる。(p35)

2 人目は、数理統計学者の竹内啓で、著書「偶然とは何か その積極的意味、岩波新書、2010 年」の中で、次のように述べている。

- ・ 点の数 N が大きくなるとだんだん一様になり、非常に大きくなると次のような意味で完全に一様になる。すなわちこの正方形（面積を 1 とする）の中に面積が S に等しい図形を書くと、それがどんな図形であっても、その図形の内部にある点の数を n とすると、 $\frac{n}{N}$ はほぼ S に等しくなる。(p69)
- ・ すなわち一定の地図の中で大小さまざまで形も異なる水田が多数存在するとき、その総面積を算出するのに、一つ一つの水田を測ってその面積を計算し、それを合計することははなはだ面倒であろう。より簡単な方法は、この図の中に多数の点をでたらめに打ち、その中で水田の上に落ちた点を数えて推定することである。そうして N 個の点のうち n 個が水田の上に落ちたとすれば、この地図の中にある水田の総面積は、地図上の表している範囲の土地 $\frac{n}{N}$ に当たると推定することができる。(p70)

(2) 属性調査と変量調査に対応可能

ドット標本調査法は、属性調査と変量調査の両方に対応できる。

即ち、ドット地点の属性を調べれば属性調査（例えば、稲が作付けされているか否かを調査して、稲が作付けされている割合を求める調査）が可能となる。世論調査の RDD 手法、出口調査の手法で取り入れられている手法は属性調査である。

また、ドットが面積確率比例抽出される性質を利用してドットを標本抽出に活用し、ドット周辺の変量を調べれば変量調査（例えば、ドット周辺 1 m^2 の稲を刈取り、収量を量る調査）が可能となる。

(3) 希少作物の作付面積の把握

希少作物であっても、作付面積の割合に比例して標本ドットが抽出されるので、希少作物の面積であっても把握することができる。地面に落ちるドットは全てが等しい確率となるので、出現率は作付面積の割合に比例することとなる。必要となる標本数に関しては、要求される精度に応じて計算することが可能である。

(4) 作付面積調査の際の混作への対応が可能

ドット標本調査法による作付面積調査においては、一枚の圃場に複数の作物が植えられている場合であっても特別の対応は必要とされない。

混作には、複数の作物が同じ地点に混ざり合っている場合と、複数の作物が区分されて栽培されている場合があるので、それぞれについて対応方法が異なる。

例えばトウモロコシと大豆が同じ地点に混ざり合っている場合は、トウモロコシでカウントすると同時に大豆でもカウントする。したがって、作付面積は重複カウントされることになる。

複数の作物が区分されて栽培されている場合は、通常どおり標本ドットが落ちた地点の作物でカウントする。

(注) 混作の場合の作付面積を上のように定めることから、単収調査の標本として複数の作物が混ざり合っている混作の箇所が当たった場合は、当該作物のみに焦点を当てて、通常の手法で坪刈りを行うことに留意されたい。このことにより、「対象地域の生産量 = 対象地域の平均単収 × 対象地域における作付面積」で推計することができる。

(5) 本地、畦畔別面積の調査が可能

ドット標本調査法を使った面積調査では、本地、畦畔の区別に従って面積が推計される。これは、標本ドットが、本地、畦畔の面積割合に応じて面積確率比例抽出されるからである。したがって、畦畔率推計のための調査を別途行う必要がなくなる。

(注) 従来の面積調査においては、調査結果に畦畔が含まれていることが多い。した

がって、単収×面積で生産量を推計している場合には、生産量が過大になる。このような場合には、畦畔率を別途調査して畦畔を除いた面積とするか、畦畔を含めた単収を推計する必要がある。

(6) 複雑な形状や傾斜地であっても正確な面積調査が可能

標本ドットの属性を確認するだけであり、面積そのものは測定しないので、地形の形状が複雑であっても影響を及ぼさない。また、傾斜地であっても、投影面の面積に応じてドットが配置されるので、傾斜角度の強弱が結果に影響を及ぼさない。

(7) 調査員は少人数でも、また、誰でも調査が可能

現地調査に必要となる調査員の人数が少なく済む。現地調査において測量することはないので、一人だけで現地調査を実施することが可能である。また、現地調査で調査員が行うことは、標本ドットの地点における属性を調査する（例えば米が作付けられているか否かを確認する）だけであるので、高度な知識がなくても調査が可能である（第2章の2参照）。

(8) 何回でも調査が可能

標本ドットの地点を数年間固定すれば、新たに標本ドットの場所を探すことなく、前回と同じ場所を訪問すればよいので、一年に複数回の調査であっても容易にできる（第2章の3参照）。

(9) ドット標本調査法の将来的発展の可能性が大

ドット標本調査法は、単純ながら、知れば知るほど奥深く可能性に満ちている調査手法である。

まず、ドット標本調査法は、最近話題のドローンとの親和性が高い手法ということが出来る。標本ドットに与えられた緯度経度の座標データをドローンに読み込ませることによって、標本ドット地点の写真を自動的に撮ることが可能になることが期待される。そうすれば、ほとんどの現地調査が机上で行うことが可能となろう。

また、ドット標本調査法が実測調査手法としての側面も有していることから、実測調査手法として位置づけることによる新たな理論的発展の可能性もある。

Google Earth 自体に備わっている機能、例えば、過去の地図を表す機能、面積等の測量機能、目的地までのナビゲーション機能等を駆使することによって調査の一層の発展の可能性もある。

以上のように様々な分野の経験、ICT 技術、数学の知識等を駆使して、新しい時代にふさわしい作物統計調査体系が構築される可能性が大きい。

第2章 ドット標本調査法を使った面積調査

本章では、ドット標本調査法を使った面積調査に関して、面積調査の概念、調査の具体的な手順について説明する。また、1回目よりずっと簡単になる2回目以降の面積調査の方法、必要標本ドット数の求め方、統計組織で調査を行うときの考え方について記述し、さらに、Google Earth 上での準備調査を行った3事例を紹介している。また、2次元定規（面積測定用定規）としての使い方も併せて記述している。

1 面積調査の概念

ドット標本調査法の基本的考え方は、第1章で記述したとおり、例えば、調査対象地域内の水稲作付面積を求めるときには、対象地域内に n 個の標本ドットを配置（理論的には単純無作為抽出方法で配置することが基本となるが、ドット標本調査法では、標本管理がし易く単純無作為抽出法よりも精度が良くなる系統無作為抽出方法で格子状に配置することとする。）し、水稲が作付けされている箇所に落ちたドットの数数を数える。水稲が作付けされている箇所に落ちたドットの数 n_1 個とすれば、その比率（ $\hat{p} = \frac{n_1}{n}$ ）を調査対象地域の面積（ W ）に乗じて、水稲作付面積（ \hat{T} ）を推計する。

（注1）推計式は次のとおり。

$$\text{水稲作付面積 } \hat{T} = \frac{n_1}{n} \times W = \hat{p}W$$

$$\text{標準誤差 } SE = \sqrt{\frac{\hat{p} \times \hat{q}}{n}} \quad \text{ただし、} \hat{q} = 1 - \hat{p}$$

（注2）推計値の変動係数（CV）は次のとおり。

$$\text{変動係数 } CV = \frac{SE}{\hat{p}}$$

2 調査の手順

ドット標本調査法による面積調査手順は、次の4つからなっている。

手順1は、標本ドットを抽出する。対象地域の標本ドット数を決定し、Excel上の様式に標本ドットの密度（面積及びドット数）、対象地域の範囲を特定する緯度経度を入力する。指示に従ってクリックすると、ExcelマクロによりGoogle Earth上に標本ドットが表示される。

手順 2 は、Google Earth 上でのドット地点の属性を調べる。これは机上で行う作業で、耕地と思われるドットと森林、水路、道路、建物等明らかに現地調査の必要がないドットを区分する。このことにより、現地調査して属性を確認すべき標本ドットと現地調査が不要な標本ドットの区分が行われることになる。

手順 3 は、現地調査すべき標本ドットを訪問して、当該ドット地点の属性を確認する。水稲作付面積調査であれば、水稲が作付けされているか否かを確認する。

手順 4 は、面積の推計をする。

次に、以上 4 つの手順に従って、水稲作付面積調査を例とした場合の手順の詳細を以下に述べる。

(1) 手順 1 Google Earth 上への標本ドットの配置

Google Earth 上への標本ドットの配置は、作業を効率化するために開発された Excel マクロを使用して行う。

Google Earth が利用できるパソコンに、Excel マクロの入った 3 つのファイル (LL Sheet for the dot sampling、LL Table Maker、Save Range As KML File) を用意する。

まず始めに、LL Sheet for the dot sampling ファイルを開いて、入力箇所、対象地域等の名前 (= 保存するときのファイル名) を適当に入力するとともに、次の①から⑥までの 6 つの数値を入力する。

①対象地域面積

②標本ドット数

③最北端より北側の緯度

④最西端より西側の経度

⑤最南端より南側の緯度

⑥最東端より東側の経度

①の対象地域面積 (国土面積、県面積等) は、行政データその他から入手する。

②は、必要標本数を計算する。必要標本数の計算方法は後述する。

③から⑥は、Google Earth その他のデータから緯度経度を十進法で入力する。

(注 1) ①及び②の入力の目的は、ドットの密度 (単位面積当たりの標本ドット数)

を規定することである。

(注2) ③から⑥は、Google Earth 上にドットが表示される範囲で、対象地域範囲を包含する長方形の範囲を示している。③及び④により標本ドットを系統抽出するときのスタート地点（北西端）の座標、⑤及び⑥により終了地点（南東端）直前の座標が規定される。

(注3) ドットが表示される範囲は、入力された緯度経度に囲まれた四角形の範囲となる。

(注4) ①で規定した対象地域面積内に系統抽出により実際に配置されることとなる標本ドットの数、抽出するときのスタート地点により若干の差がでることがあるが②で規定した標本ドット数とほぼ一致する。

例えば新潟県燕市（面積 110.94km²）に 100 個の標本ドットを配置したい場合は、LL Sheet for the dot sampling ファイルを開いて、入力箇所以下のように入力する。

(1) にファイル名として例えば Tsubameshi、(2) に燕市の面積から 110.94、(3) に標本ドット数 100、(4) に最北端より北の緯度として 37.73、(5) に最西より西の経度として 138.78、(6) に最南端より南の緯度として 37.59、(7) に最東端より東の経度として 138.98 を入力する。

LL Sheet for the dot sampling

T-1 Basic data to generate sample dots (Sampling Design)

Target area	Size of the Target area km ²	Sample size	Starting point (latitude)	Starting point (longitude)	Finishing point (latitude)	Finishing point (longitude)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Tsubameshi	110.94	100	37.73	138.78	37.59	138.98

[1-\(1\) Click here to check data in T-1 table](#)

2. Sampling based on the "Sampling design"

[2-\(1\) Click here to complete T-2 table](#)

[2-\(2\) Click here to make a KML file](#)

入力が完了したら、指示に従ってボタンをクリックしていくと、LL Table Maker、Save Range As KML File が自動的に動いて、抽出された標本の座標表が現れ、Google Earth が起動し、最終的に Google Earth 上に標本ドットが自動的に表示される。

(2) 手順2 Google Earth 上での準備調査

Google Earth 上での準備調査はパソコン上で行う。ドット地点の属性調査を Google Earth 上で行い、現地調査が必要な標本ドット（耕地の可能性があるとと思われる地点）と現地調査が不要な標本ドット（森林、湖、住宅、道路、工場等非耕地の地点であり明らかに現地調査の必要がない地点）を区分する。なお、必要があれば、この過程で調査地域の土地利用を把握することも可能である。

準備調査の結果は、例えば手順1で記述した燕市の例では、次の表のとおり、耕地推計値は6,000haとなったが、これには耕地かもしれないと Google Earth 上で判断された地点も含まれているので実態よりは大きな数値となっている。実際の推計値は手順3で後述するとおり、現地を訪問して実際に作付けされている作物を確認して、どのような属性（土地利用）になっているのか確認する必要がある。

手順2(Google Earth上での準備調査)の結果

項目	標本ドット数	割合(%)	推計面積(ha)
耕地の可能性のある地点	53	54	6,000
畦畔の地点	6	6	679
その他の地点	39	40	4,415
合計	98	100	11,094

(3) 手順3 圃場での現地調査

手順3は、手順2で行った準備調査で現地調査すべきとなった標本ドット（=耕地の可能性のある地点）に関して、実際の属性の確認作業をするために行う手順である。

現地を訪問する前に現地へ行くための案内図をプリントアウトし、調査員がこれを持参する。調査員がパソコン（スマートフォン等を含む。）を持参して調査に行けるような環境であれば、手順1で作成したKMLファイルを調査員にe-mailで送付し、調査員がKMLファイルを開いてGoogle Earthの画面を見ながら現地調査を行うことも可能である。

調査員は手順2で分けられた現地調査すべき標本ドットを訪問して、当該標本ドット地点の属性を確認する。例えば水稲作付面積調査であれば、水稲が作付けされている

か否かを確認する。

手順2で記述した燕市の例で言えば、耕地の可能性のある地点のドットが53個あるので、この53個のドットの属性を現地調査で確認する。

なお、現地調査をして仮に53個のうち10個は単なる空き地で、耕地は43個であったとすれば、次回の調査からは、43個の地点の属性を現地調査すればよいことに留意されたい（第2章の3参照）。

（4）手順4 面積の推計

対象地域内に n 個の標本ドットを配置し、そのうち水稻が作付けされている箇所に落ちたドット数が n_1 個とすれば、その比率 $\frac{n_1}{n}$ を調査対象地域の面積に乗じて、水稻の作付面積を推計する。推計式は第2章の1に記述したとおりである。

3 2回目以後の調査

2回目以後は次に述べるように1回目より簡単に調査を実施することができる。

第1に、抽出された標本ドットは、2回目以後もそのまま標本として使うことが可能であるので、2回目以後は標本ドットの場所を探す必要がなくなり、1回目の標本を訪問して、その属性を確認するだけで済む。

第2に、1回目の調査で訪問した標本ドットのうち耕地ではない地点が明らかとなっていることから、2回目以後は耕地ではない地点に行く必要がなくなる。耕地だけを訪問して、その属性を確認するだけで済む。

また、以上のことから、1年に複数回の調査を行うことも容易である。

4 ドット標本調査に必要な標本数

ドット標本調査法による面積調査の準備調査（上記手順2）に必要な標本数は、目標精度と母変動係数の2つの要素から計算することができる。即ち、

$$\begin{aligned} \text{必要標本数} &= \frac{(\text{母変動係数})^2}{(\text{目標精度})^2} \\ &= \frac{(\text{母標準偏差})^2}{(\text{目標誤差})^2} \end{aligned}$$

により計算する。

(注) 母変動係数は、対象地域に占める調査対象属性の割合 (p) の値が必要となるが、現実には調査時点では p の真の値はわからないので、過去の調査結果や試行調査の結果を代用して行う。

繰り返しとなるが、ここで言う必要標本数は、上の手順 2 の Google Earth 上での準備調査に必要な標本数である。手順 3 の現地調査に必要な標本数は、手順 2 で行った準備調査で現地調査すべきとなった標本ドット (= 耕地の可能性のある地点) の数になるので、準備調査に必要な標本数に比べて減少する。

次の表は、対象地域に占める調査対象属性の割合 (p%) と目標精度 (CV) によって、上に示した必要標本数の計算式から準備調査に必要な標本数を計算し、併せて現地調査に必要な標本数の理論値を「準備調査必要標本数 $\times \frac{p}{100}$ 」により計算して示したものである。この表を見ると、p の値が小さくなるにつれて準備調査必要標本数は急増しているが、これに対して、現地調査の必要標本数はそれほど大きくなっていないことに注目されたい。これはドット標本調査の特徴の一つで、少ない現地調査標本数で高い精度を確保することができる。

(注 1) 次の表に示した現地調査必要標本数の数値は、例えば、水稻作付面積調査の場合に水稻の作付地に落ちる標本ドットの現地調査必要標本数の理論値である。実際の現地調査では、水稻が作付けられている可能性のある標本ドット全てを訪問することになるので、この理論値よりやや大きくなる。

(注 2) 手順 2 で示した燕市の準備調査では、とりあえず切りの良い 100 の標本ドットを管内に配置しているが、次の表を見ながら実際の標本設計をしてみよう。過去の調査結果をみると燕市の水稻作付面積の割合 (p) が 40% であるので、目標精度を 10% にすると、準備調査必要標本数は、次の表から 150 となる。現地調査必要標本数に関しては、次の表から 60 の理論値が読み取れるが、実際の現地調査は、水稻が作付けられている可能性があるかと判断される標本ドット全てを訪問することになる。

(注 3) 注 2 の現地調査で実際に訪問する標本ドット数は事前情報を利用すれば計算からその概数を求めることができる。すなわち、過去の調査結果から燕市の水田本地率は 50% 程度であるので、準備調査を行う 150 の標本ドットのうち 75

(=150×50%) 程度の標本ドットが水稻の作付けられている可能性のある標本ドットと計算される。事前情報を利用することによって、準備調査必要標本数と同時に現地調査で実際に訪問する標本ドットの概数が試算できることはドット標本調査法の利点の一つである。

準備調査及び現地調査必要標本数

調査対象地域 面積に占める当 該属性面積の 割合	目標精度 CV = 3%		目標精度 CV = 5%		目標精度 CV = 10%	
	準備調査	現地調査	準備調査	現地調査	準備調査	現地調査
p %						
1	110,000	1,100	39,600	396	9,900	99
2	54,444	1,089	19,600	392	4,900	98
3	35,926	1,078	12,933	388	3,233	97
4	26,667	1,067	9,600	384	2,400	96
5	21,111	1,056	7,600	380	1,900	95
6	17,407	1,044	6,267	376	1,567	94
7	14,762	1,033	5,314	372	1,329	93
8	12,778	1,022	4,600	368	1,150	92
9	11,235	1,011	4,044	364	1,011	91
10	10,000	1,000	3,600	360	900	90
20	4,444	889	1,600	320	400	80
30	2,593	778	933	280	233	70
40	1,667	667	600	240	150	60
50	1,111	556	400	200	100	50
60	741	444	267	160	67	40
70	476	333	171	120	43	30
80	278	222	100	80	25	20
90	123	111	44	40	11	10

注: 計算式

$$\begin{aligned} \text{準備調査必要標本数} &= \frac{(\text{母標準偏差})^2}{(\text{目標誤差})^2} \\ &= \frac{\frac{p}{100} \times \left(1 - \frac{p}{100}\right)}{\left(\frac{p}{100} \times \frac{CV}{100}\right)^2} = \frac{p \times (100 - p)}{\left(p \times \frac{CV}{100}\right)^2} \end{aligned}$$

$$\text{現地調査必要標本数} = \text{準備調査必要本数} \times \frac{p}{100}$$

5 統計調査組織の対応

政府が、ドット標本調査法で水稻の作付面積調査を行う場合には、組織的な対応が行われることとなるので、どのように運用するか各国の実情に応じて検討する必要がある。

組織ごとの主要な役割は概ね次の7つになる。

(手順1) ① Google Earth 上に標本ドットを配置する。

(手順2) ② 準備調査を行う。

(手順3) ③ 標本ドットを訪問するため印刷した地図又は標本ドットの位置を示した KML ファイルを調査員へ郵送する。

④ 現地調査必要標本ドットを訪問し、水稻が作付けされている地点にある標本ドットの番号を報告する。

⑤ 現地調査結果を取りまとめる。

(手順4) ⑥ 水稻作付面積の推計値を出す。

(その他) ⑦ 標本の入れ替え等標本を管理する。

①～③、⑤～⑦に関しては中央組織又は地方組織で対応することになる。②の標本ドットの属性を Google Earth 上で判断する準備調査は、中央組織が行うよりも当該地域に関して土地勘を持っている組織が行う方が効率的であろう。④の現地調査に関しては、調査員又は地方組織が行うこととなる。

6 Google Earth 上での準備調査の結果事例

準備調査は、Google Earth 上でできるので、日本にいながら世界中のどの国のものでも可能である。次に示すものはいくつかの国を対象に行われた準備調査の結果である。これらは、圃場での現地調査を行っていない準備調査段階の結果であり、即ち、標本ドット地点を訪問して栽培している作物等を確認することは行っていない段階での結果である。

(1) タイにおける準備調査

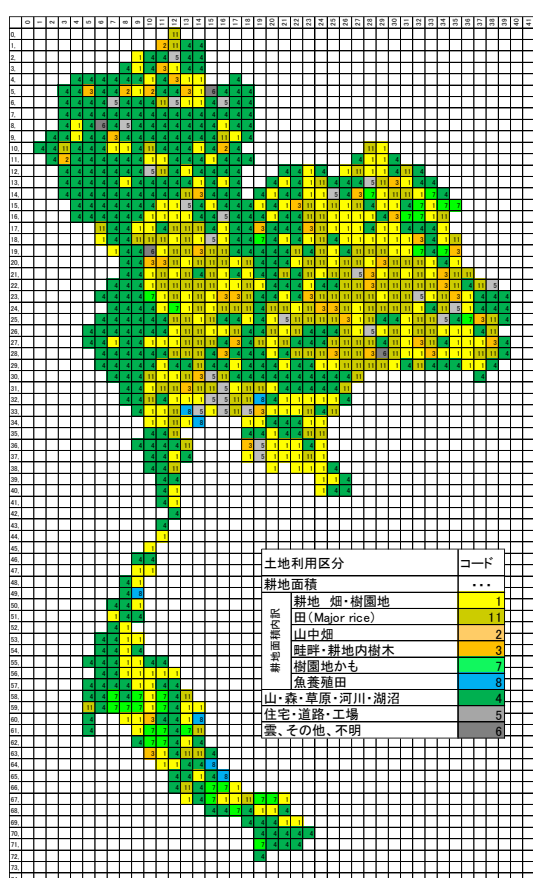
ドット標本調査法の有用性を検証するために、2013年にタイを対象にして水田面積調査の準備調査が行われた。

タイ全土に999個の標本ドットが配置され、Google Earth 上で水田と思われる箇所の標本ドット数を数えると184個、水田の畦畔と思われる箇所の標本ドット数は31個

となり、現地調査を行う必要がある標本ドット数は 215 個 (= 184 + 31 個) となった。

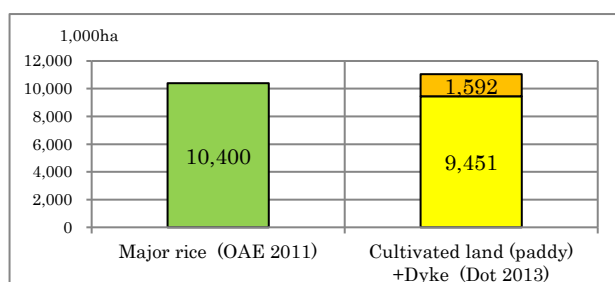
仮に準備調査の結果から水田面積を推計すると、水田（畦畔込み）率は 21.5% (= 215/999) となり、国土面積は 51,312 千 ha であることから、水田面積（畦畔込み）は 11,043 千 ha (= 51,312 × 215/999) となる。一方、タイの公式統計によれば水田面積（畦畔込み）は、10,400 千 ha（2011 年）である。

準備調査は Google Earth 上で水田かもしれないと思われる箇所を調べているので、公式統計と比較するためには現地調査を行って正確な数値を推計する必要があるが、タイ政府が多額の費用を使って推計した結果（10,400 千 ha）と、Google Earth 上で一人の人間が数時間で行った準備調査の結果（11,034 千 ha）は近似している。



土地利用区分	dot度数	率(%)	面積(ha)	標準誤差	CV	
耕地面積	517	51.8	26,554,859	1.6	3.1	
耕地面積内訳	耕地 畑・樹園地	246	24.6	12,635,387	1.4	5.5
	田 (Major rice)	184	18.4	9,450,859	1.2	6.7
	山中畑	5	0.5	256,817	0.2	44.6
	畦畔・耕地内樹木	43	4.3	2,208,625	0.6	14.9
	樹園地かも	32	3.2	1,643,628	0.6	17.4
	魚養殖田	7	0.7	359,544	0.3	37.7
山・森・草原・河川・湖沼	451	45.1	23,164,877	1.6	3.5	
住宅・道路・工場	27	2.7	1,386,811	0.5	19.0	
雲、その他、不明	4	0.4	205,453	0.2	49.9	
合計	999	100.0	51,312,000	

土地利用区分	dot度数	率(%)	面積(ha)	標準誤差	CV	
田	田 (Major rice)	184	18.4	9,450,859	1.2	6.7
	畦畔・樹木等	31	3.1	1,592,264	0.5	17.7
合計	215	21.5	11,043,123	1.3	6.0	



出典：神宮司一誠、Dot Sampling Method for Area Estimation（2014年2月）

（2）ラオスにおける準備調査

ラオス政府の統計職員が、2014年、日本における農業統計研修の演習時間に、ラオスのサワナケート県を対象にして水田面積調査の準備調査を行った。

サワナケート県内に100個の標本ドットを配置し、Google Earth上で水田と思われる箇所の標本ドット数を数えると10個となり、10個の標本ドットに関して現地調査を

行う必要がある結果となった。

準備調査は Google Earth 上で水田かもしれないと思われる箇所を調べていて現地調査が必要であるが、仮に準備調査の結果から水田面積を推計すると、水田率は 10% (= 10/100) となり、サワナケート県の面積は 2,177,400ha であることから、水田面積は 217,740ha となる。一方、ラオスの公式統計によればサワナケート県の水田面積は、212,840ha (2013 年) である。

Category	Number	Share (%)	Estimate (ha)	SE (point)	CV
Paddy	10	10	217,740	3.0	0.30
Dyke	2	2	43,548	1.4	0.70
Residential Land	7	7	152,418	2.6	0.36
Road	2	2	43,548	1.4	0.70
River	1	1	21,774	1.0	0.99
Forest	75	75	1,633,050	4.3	0.06
Cultivated Land	3	3	65,322	1.7	0.57
Total	100	100			

Note1: Area of Savannaket: **2,177,400ha**

Note2: Agricultural Statistics 2013: Paddy Area: **212,840ha**

出典： Mr.Senpachanh Khounthikoummane, Lao PDR, 2014 年 8 月

(3) 東ティモールにおける県面積調査

ドット標本調査法を使って、2014 年に東ティモールの県面積調査を行った。

東ティモール全土に 1,500 個の標本ドットを配置し、Google Earth 上でラオテム県に配置された箇所の標本ドットの数进行と 184 個となった。

この準備調査の結果からラオテム県面積を推計すると、ラオテム県の比率は国土の 12.3% (= 184/1,500) となり、国土面積は 14,919km² であることから、ラオテム県面積は 1,830km² (= 14,919 × 184 / 1,500) となる。一方、Wikipedia によればラオテム県面積は、1,813km² である。

準備調査結果によれば、誤差は 17km² (= 1,830 - 1,813km²) となり、誤差率は 0.9% (17/1830) となった。誤差の理論値は 6.9% となるので、実績精度はかなり良い結果となっている。ドット標本調査法の精度は、理論値より極端に良くなる傾向にあ

り、その理由についてはいくつか考えられるが、理論的な研究が期待される。

県	標本ドット	同左比率	面積推計	面積真値	誤差(E)	精度(F)	理論値	
	(A)	(B)	値(C)	(D)	(=C-D)	(=E/C)	標準誤差	精度
	個	%	km ²	km ²	km ²	%	%ポイント	%
Lautem	184	12.3	1,830	1,813	17	0.9	0.85	6.9
Baucau	150	10.0	1,492	1,506	-14	0.9	0.77	7.7
Viqueque	188	12.5	1,870	1,877	-7	0.4	0.85	6.8
Manatuto	182	12.1	1,810	1,782	28	1.6	0.84	6.9
Dili	39	2.6	388	367	21	5.4	0.41	15.8
Ailiu	73	4.9	726	737	-11	1.5	0.56	11.4
Manufahi	128	8.5	1,273	1,323	-50	3.9	0.72	8.5
Liquiçá	60	4.0	597	549	48	8.0	0.51	12.6
Ermera	75	5.0	746	768	-22	3.0	0.56	11.3
Ainaro	83	5.5	826	804	22	2.6	0.59	10.7
Bobonaro	140	9.3	1,392	1,376	16	1.2	0.75	8.0
Caova Lima	117	7.8	1,164	1,203	-39	3.4	0.69	8.9
Oesusse	81	5.4	806	814	-8	1.0	0.58	10.8
合計	1,500	100		14,919	0			

出典：上倉健司、Dot Sampling Method using Google Earth -What you can do with the Dot Sampling Method-、Developing Partners Coordinating Meeting, World Bank, Timor-Leste, 2014年11月

7 2次元定規として利用した場合の面積調査

ここでは、ドット標本調査法を2次元定規（面積測定用定規）として使用する場合を説明する。直線定規は定規の目盛りを数えて物の長さを計測するものであるが、2次元定規は、目盛りの数を数えて面積を計測するものである。2次元定規としては既に点格子板が実用化されていて、これは、透明なフィルムベース上に点を等間隔に配列したもので、図面の上に点格子板をのせ、測定しようとする範囲内に落ちた点の数を数えて、これに係数（1点あたりに相当する面積）を乗じて面積を出すものである。

ドット標本調査法を2次元定規として使用する場合は、点格子板による面積測定と同じ方法をGoogle Earth上で行うことができる。

例えば、Google Earth上に10aに1個の割合でドットを配置する。測定しようとする範囲に3個のドットがあれば、その範囲の面積は30aになる。

10aに1個（1km²に1,000個）の割合でドットを配置したい場合は、LL Sheet for the dot sampling ファイルを開いて、（1）にファイル名として例えば1 dot=0.1ha、（2）に1km²、（3）にドット数1,000個、（4）に対象地域の最北端より北の緯度、（5）に最西より西の経度、（6）に最南端より南の緯度、（7）に最東端より東の経度を入力する。

LL Sheet for the dot sampling

T-1 Basic data to generate sample dots (Sampling Design)

Target area	Size of the Target area km ²	Sample size	Starting point (latitude)	Starting point (longitude)	Finishing point (latitude)	Finishing point (longitude)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1 dot = 0.1 ha	1	1,000	36.032451	140.1226	36.026	140.1329



第3章 ドット標本調査法を使った単収調査

第2章ではドット標本調査法を使った面積調査について述べてきたが、単収調査に活用すると、これまで時間をかけて行ってきた標本抽出作業工程が劇的に縮減される効果をもたらす。本章では、ドット標本調査法を単収調査に活用する方法を説明する。

1 単収調査におけるドット標本調査法の活用方法

ドット標本調査法は基本的には標本ドット地点の属性を調べる調査であるので、単収調査のように変量を調べる調査には使用しないが、標本ドットが面積確率比例抽出される性質を利用して、標本ドットを坪刈り箇所を選定に活用することができる。

単収調査への標本ドット活用の大きな特徴は、市町村別の作付面積がわからなくても、あるいは、農家のリストがなくても標本の選定が可能となること並びに標本の選定が簡単になることである。従来は、「確率比例抽出法」による抽出を行っていた。これは、坪刈りに際して、標本坪刈り圃場がその大きさに等しい確率で抽出されるよう圃場単位で標本を抽出するものである。即ち、例えば第1段階として作付面積の累積和を出して市町村を確率比例で抽出し、第2段階で抽出された市町村内における農家リストを作成して、その中から農家を系統抽出し、第3段階で当該農家の圃場を、第4段階で調査箇所を系統抽出する工夫をして標本を抽出してきた(第2段階以下でリストを作成して農家や圃場を系統抽出するのは便宜的方法である。厳密にはここでも農家や圃場の面積の大きさが抽出に反映されるようにすべきであるが実務的に困難なためにこのような方法が取られている)。ドット標本調査法を活用すれば、坪刈り箇所を選定において1圃場1箇所刈りの場合は、Google Earth上に示された標本ドットの落ちた場所が坪刈り箇所となる。また、2箇所刈り等複数箇所を刈り取る場合は、標本ドットの地点及びその標本ドットの地点を起点にしてあらかじめ定められたルールに則って決定された箇所でも坪刈りを行う。標本ドットの活用により、標本圃場の完全な面積確率比例抽出が実現するだけでなく、標本抽出の煩雑さからも解放されることとなる。

また、坪刈り圃場が確率比例抽出されることから、標本に当たった圃場の面積の大きさを考慮することなく単純平均により平均単収の推計が可能となる。また、簡単に標本抽出ができることから標本のローテーションの管理等標本管理が簡単になる。

2 調査の手順

(1) 手順1 坪刈り標本箇所抽出

まず始めに、坪刈り標本箇所を抽出する。

ドット標本調査法により行った水稻の作付面積調査の際に使用した標本ドットのうち水稻が作付けられている標本ドットの中から必要となる坪刈り標本数を系統抽出して、坪刈り箇所を抽出する。

(注1) 必要坪刈り標本数の計算は、通常と同じ方法で行う。

例えば、対象地域における水稻単収の変動係数が32%で、目標精度を10%とする場合の必要標本数は次の計算により10となる。

$$\text{必要標本数} = \frac{(\text{変動係数})^2}{(\text{目標精度})^2} = \frac{32^2}{10^2} \doteq 10$$

(注2) ドット標本調査法による水稻作付面積調査を行っていない場合は、手順1の代替方法として、面積調査のところで述べたExcelマクロを使用して、以下の方法で行う。

Google Earthが利用できるパソコンに、Excelマクロの入った3つのファイル(LL Sheet for the dot sampling、LL Table Maker、Save Range As KML File)を用意する。

例えば新潟県燕市の水稻作付面積(52km²)に10個の坪刈り標本ドットを配置したい場合は、LL Sheet for the dot samplingファイルを開いて、入力箇所に以下のように入力する。

(1)にファイル名として例えばTsubameshiY、(2)に燕市の水稻作付面積52、(3)に標本ドット数10、(4)に最北端より北の緯度として37.73、(5)に最西より西の経度として138.78、(6)に最南端より南の緯度として37.59、(7)に最東端より東の経度として138.98を入力する。

入力が完了したら、指示に従ってボタンをクリックしていくと、LL Table Maker、Save Range As KML Fileが自動的に動いて、抽出された標本の座標表が現れ最終的にGoogle Earth上に標本ドットが表示される。この際、Google Earth上に表示された標本ドットは対象地域全域に配置されているので、この中から水稻作付け箇所にある標本ドットを確認して坪刈りを行う。

LL Sheet for the dot sampling

T-1 Basic data to generate sample dots (Sampling Design)

Target area	Size of the Target area km ²	Sample size	Starting point (latitude)	Starting point (longitude)	Finishing point (latitude)	Finishing point (longitude)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
TsubameshiY	52	10	37.73	138.78	37.59	138.98

1-(1) [Click here to check data in T-1 table](#)

2. Sampling based on the "Sampling design"

2-(1) [Click here to complete T-2 table](#)

2-(2) [Click here to make a KML file](#)

(2) 手順2 坪刈り、脱穀、乾燥、計量

1 標本圃場 1 箇所刈りの場合は、標本ドットの地点で坪刈りを行い、複数箇所刈りの場合は、標本ドットの地点及びその標本ドットの地点を基点にしてあらかじめ定められたルールに則って決定された箇所でも坪刈りを行う。坪刈りをするときは農家が通常行う手法で行う。刈り取った稲を脱穀、乾燥した上で計量する。

(3) 手順3 対象地域における平均単収の推計

対象地域における平均単収は、標本を単純平均して推計する。坪刈り圃場が確率比例抽出されていることから標本に当たった圃場の面積の大きさを考慮することなく坪刈りした結果をそのまま単純平均する。

(注) 推計式は次のとおり。

$$10a \text{ 当たり収量 } \bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

$$\text{標本誤差 } s_{\bar{X}} = \sqrt{\frac{s^2}{n}} \quad \text{ただし、} s^2 = \frac{1}{n-1} \sum (X_i - \bar{X})^2$$

第4章 ドット標本調査法を使った米生産量調査の事例

本章では、米生産量調査の事例を記述する。

以下の事例は、2015年に日本で行われた JICA 研修において行ったドット標本調査法を使った調査対象地域（20ha）の米の生産量調査の実習の結果である。要した日数は、対象地域の水稲作付面積の推計に1日、水稲の平均単収と生産量の推計に1日、合計2日間であった。

米生産量調査は、第2章の作付面積調査及び第3章の単収調査をパッケージで行うことによって行っている。

即ち、対象地域の米生産量は、

対象地域の水稲平均単収×対象地域の水稲作付面積

で計算している。

1 作付面積調査

Google Earth 上で、対象地域（面積 20ha）に 80 の標本ドットを配置した。

初めに、Google Earth 上で準備調査を行う。23 ドットは明らかに建物、道路、水路等非耕地の上に落ちていることが Google Earth 上から読み取れるのでこれらに関しては現地調査の必要がないと判断した。

次に、残りの 57 ドットに関しては水稲が作付けされている可能性があるので、現地調査をして、水稲が作付けされているか否かを確認することとした。確認の結果 57 ドットのうち 50 ドットにおいて水稲が作付けされていた。

その結果、対象地域（20ha）における水稲作付面積は下表のとおり 12.5ha、精度は 8.7%（誤差 1.1ha）と推計された。

区分	コード番号	ドット数 n = 80	比率 p	面積推計値 20 × p	分散 p × (1-p)	標準誤差	精度(%)	誤差 (ha)
						$\sqrt{\frac{p \times (1-p)}{n}}$	$\frac{\text{標準誤差}}{p}$	面積推計値 × 精度
非耕地	1	23	0.288	5.8	0.2048	0.051	17.6	1.0
畦畔	3	3	0.038	0.8	0.0361	0.021	56.6	0.4
耕作放棄地	10	3	0.038	0.8	0.0361	0.021	56.6	0.4
不作付耕地	11	1	0.013	0.3	0.0123	0.012	99.4	0.2
水稲	12	50	0.625	12.5	0.2344	0.054	8.7	1.1
その他作物	13	0	0.000	0.0	0.0000	0.000		
合計		80	1.000	20.0	0.0000	0.000	0.0	0.0

2 単収調査

単収調査は、実際に坪刈りを行って推計した。坪刈り標本地点の選定は、ドット標本調査法を使った面積確率比例抽出によって行った。ドット標本調査法を使ったことにより、対象地域内の農家リストの作成、圃場の選定、坪刈り箇所を選定等の作業が省略できることから簡単に坪刈り箇所の選定が可能であった。

実際の標本抽出は、第3章の2の手順1に従って行うべきであるが、今回の研修においては、1農家の圃場を借りて、その圃場を地域全体とみなして、そこから6箇所を抽出して坪刈りを行った。その結果、対象地域の平均単収は下表のとおり 9.28 t/ha、精度は 6.4% (誤差 0.59t) と推計された。

標本番号 (n = 6)	記号	収量(t)/ha	項目	記号	計算式	数値
標本No1	X_1	11.08	標本分散	s^2	$\frac{1}{n-1} \sum (X_i - \bar{X})^2$	2.10
標本No2	X_2	9.95	標本標準偏差	s	$\sqrt{s^2}$	1.45
標本No3	X_3	9.68	標本変動係数 (%)	CV_X	$\frac{s}{\bar{X}}$	15.62
標本No4	X_4	8.39				
標本No5	X_5	9.66	標本平均分散 の推定値	$s_{\bar{X}}^2$	$\frac{s^2}{n}$	0.35
標本No6	X_6	6.89	標準誤差 の推定値	$s_{\bar{X}}$	$\sqrt{s_{\bar{X}}^2}$	0.59
標本平均 (単収推計値)	\bar{X}	9.28	標本平均変動 係数(%)	$CV_{\bar{X}}$	$\frac{s_{\bar{X}}}{\bar{X}}$	6.38

(注) 標本抽出は、本来ならば、上記1の作付面積調査で水稲が作付けられていた50ドットの中から6つのドットを系統抽出して坪刈り標本箇所とする方法、あるいは、Google Earth上で水田12.5haの水田にドットが6箇所落ちるような設定にして坪刈り標本地点6箇所を選定する方法で坪刈り調査を実施すべきであるが、ここでは研修実習として1農家の圃場を借りて、そこで6つの地点の坪刈りを6つの調査グループで行うという便宜的方法によった。

3 生産量調査

作付面積調査結果及び単収調査結果から対象地域（20ha）における米の生産量は、下表のとおり 116t、精度 10.8%と推計された。

	単収 (t)	面積 (ha)	生産量 (t)	計算
推計値	9.28	12.5	116	9.28×12.5
精度 (%)	6.4	8.7	10.8	$\sqrt{6.4^2 + 8.7^2}$
手法	坪刈り標本地点の選定は、ドット標本調査法を使った面積確率比例抽出	ドット標本調査法（属性調査）	生産量 = 単収 × 面積	

以上のように、調査対象地域（20ha）の米の生産量（収穫量）調査に要した日数は、対象地域の水稲作付面積の推計に 1 日、水稲の平均単収と生産量の推計に 1 日、わずか 2 日間という短期間で終了することができた。これは、ドット標本調査法の実践により、作付面積が正確に短期間で把握できるようになったこと、並びに、対象地域の平均単収を出すための坪刈り標本地点の抽出が標本抽出のためのリストを作成する必要がなく短時間で行えるようになったことから、これまで相当な日数をかけて行ってきた生産量調査が短期間かつ正確に行えるようになったことによる。

第5章 ドット標本調査法の不思議

ドット標本調査法は、学べば学ぶほど不思議なことが起こってくる。その中から、2点をこの章で記述する。

1 目標精度以上の精度

一つ目の不思議は、これまで行ったドット標本調査法による調査の結果は常に理論値に比べて精度が良くなっていることである。標本平均の標準誤差が常に理論値に比べて何倍も良くなっている。言葉を変えて言えば、推計値のばらつきが少なく安定的であるということになる。

実際、滋賀県の土地利用を、標本規模を 1,000 にした系統無作為抽出法によるドット標本調査を 16 回行い、その結果から得られた耕地面積の分散を計算すると、単純無作為抽出法による理論的分散に比べて著しく小さくなっていた。これを相対効果 $(\frac{V_{ran}}{V_{sys}})$ という指標で見ると 3.7 倍にもなっており、単純無作為抽出で 3,700 の標本規模で調査した時と同等の精度が得られていた。琵琶湖面積の分散については 26 倍以上の結果を得ている。

	非耕地（琵琶湖は除く）	琵琶湖面積	耕地面積	本地面積	畦畔面積
	単位：%				
Test1	70.6	16.5	13.0	12.2	0.8
Test2	68.3	16.9	14.8	14.0	0.8
Test3	69.6	16.8	13.6	12.6	1.0
Test4	70.2	16.7	13.2	11.9	1.2
Test5	69.7	17.0	13.4	12.4	1.0
Test6	70.2	16.5	13.2	12.2	1.0
Test7	69.5	17.0	13.6	12.7	0.9
Test8	69.9	16.9	13.2	12.4	0.8
Test9	70.3	16.5	13.2	12.1	1.1
Test10	69.7	16.9	13.5	12.2	1.2
Test11	69.8	16.8	13.5	12.8	0.7
Test12	68.2	16.8	14.9	14.0	0.9
Test13	69.6	16.7	13.7	13.0	0.7
Test14	70.0	16.1	13.9	12.9	1.0
Test15	70.3	16.4	13.3	12.3	1.0
Test16	68.9	16.6	14.4	13.5	0.9
平均値	69.7	16.7	13.6	12.7	0.9
統計値	70.2	16.7	13.1	12.5	0.6
推計値の標準偏差	0.65	0.23	0.57	0.62	0.15
推計値の変動係数(%)	0.93	1.38	4.16	4.89	16.00
無作為抽出の時の標準誤差(推計値基準)	1.45	1.18	1.09	1.05	0.30
無作為抽出の時の変動係数(%)	2.1	7.1	8.0	8.3	32.5
系統抽出の相対効果	5.0	26.3	3.7	2.9	4.1

出典：神宮司一誠、ドット標本調査法について～その基本的考え方、効率性、信頼性についての検討～、平成 27 年 12 月

ドット標本調査法のような属性調査において、一般的に $\frac{pq}{n}$ で計算される分散の理論値は単純無作為抽出したときのものである。ドット標本調査法での標本抽出は系統無作為抽出としているが、この抽出法を用いた場合の分散の計算式はまだ開発されていないことから、系統無作為抽出に基づく推計値の分散は、この単純無作為法で参考として計算するか、又は、何回も調査を行い、その推計値を用いて計算せざるを得ないが、後者のような計算は実際の調査ではできないことである。しかし、Google Earth 上の準備調査では、上のようなシミュレーションができることになり、系統無作為抽出法が優れた手法であることを確認することができるが、一般的にどのくらいの相対効果があるかについては、更なる検討が必要である。

2 ドット標本調査と実測調査

二つ目の不思議は、ドット標本調査は、標本調査というより実測調査に分類されるのではないかということである。

これは、ドット標本調査法により地図上に落ちたドットは格子状に置かれ、点格子板で面積を実測しているのと同じではないかという考えであり、ドット標本調査法の精度が理論値以上によいのは、標本理論による誤差というより、単なる実測誤差と考えた方がよいのではないかという考えである。

単位面積当たりの標本ドット数が増えれば、あたかも衛星写真の解像度が良くなることと同じであり、あるいは、定規の目盛りが細くなることと同じであり、標本調査というより、単なる測量と考えることができる。実際、点格子板を用いた面積調査には標本誤差の概念はなく、測量誤差を減らすために3回測定して平均することが推奨されている。

このようなドット標本調査法の性格をどのように整理していくか、数学者等専門家の検討が期待される。

第 6 章 ドット標本調査法及び類似手法の海外での普及状況

第 1 章の 1 で述べたとおり、属性調査としての性質に注目すると、ドット標本調査法類似手法としては世論調査がある。即ち、この意味ではドット標本調査法の考え方は世界中に普及しているといえることができる。世論調査の場合の標本は人であり、これを人から土地に変更して調査すればドット標本調査法による面積調査になるが、現実には行われていない。

海外におけるドット標本調査については、ドット標本調査法が古典的な手法である割には普及していない。その理由は、ドット標本調査法が任意の数のドットを地図上に配置できる電子地図が開発されてこなかったためである。こうした中で、欧米においてはドットを地図上に配置して調査を行う手法が開発されてきているが、どれもドットを標本抽出のために使用するものの最終工程では面積測量を行っており、ドット標本調査法のように調査地点として直接ドットを抽出して属性調査する手法とはなっていない。

開発途上国においては、調査が表式調査で行われているため標本調査が普及せず、ドットを使った調査は普及していない。

本章では、海外で行われている類似調査手法や日本の海外技術協力におけるドット標本調査法の状況について説明する。

1 海外におけるドット標本調査法類似手法の状況

海外におけるドット標本調査法類似手法に関しては、「ドット標本調査法について～その基本的考え方、効率性、信頼性についての検討～」(神宮司一誠、2015 年 12 月)に詳しく言及されている。

米国では、幾何学的抽出法(エリア標本手法)として、点を抽出してそれを含む farm を観察単位として面接調査を行う等の手法を歴史的に行ってきた(津村善郎、「標本調査法」p178、1956 年 6 月)。

EU では、2km×2km の間隔でマスターポイントを編成し、その中から第 1 次抽出単位(PSU)を抽出し、その PSU 標本の中から第 2 次抽出単位を抽出して、面積調査用の標本を抽出している(LUCAS の Web サイト

<http://ec.europa.eu/eurostat/web/lucas/methodology> 参照)。

FAO は、国連が提唱している「農業農村統計改善のための世界戦略」を実施する中で

マスターサンプリング手法の一つとして、点を使って標本を抽出する手法があることを紹介している。また、“Technical Report on Improving the Use of GPS, GIS and Remote Sensing in Setting Up Master Sampling Frames”（FAO,2015）の中で、ドット標本調査法についてタンザニアで行った日本の技術協力の事例として紹介している。FAO はまた、“CROP MONITORING FOR IMPROVED FOOD SECURITY” – Proceeding of the Expert Meeting Vientiane, Lao People’s Democratic Republic 17 February 2014 –（FAO&ADB Bangkok 2015）では、ドット標本調査法そのものについても詳しく紹介している。

2 海外技術協力活動によるドット標本調査法の普及状況

日本が行っている海外技術協力活動の中においても、ドット標本調査法が取り入れられている。

アジア、アフリカ等海外の政府農業統計職員を対象に日本で行っている研修（JICA Group Training Program: Planning and Designing of Agricultural Statistics）の中で、毎年数名から十数名の研修生が日本に来ていて、2011 年からはドット標本調査法も学んでいる。ドット標本調査法による米生産量調査を実際に経験した研修生からは、ドット標本調査法により簡単に農作物の生産量調査ができること、人的資金的資源がなくても実施できること等高い評価を得ている。

アフリカ稲作振興のための共同体（CARD）加盟国において正確な米生産統計を作成することを目的に日本の支援によりアフリカライスが実施した「アフリカ食料安全保障情報整備プロジェクト」（2013 年～2016 年予定）において、調査手法の一つとしてドット標本調査法による調査を取り入れた。

CARD 支援対象国の特に現場レベルにおいてタイムリーで信頼性のある米の生産量統計データ収集能力向上を目的として日本の支援により FAO が実施した「アフリカ食料安全情報整備支援プロジェクト」（2013 年から 2018 年予定）においてもアフリカ諸国からの要請により調査手法の一つとしてドット標本調査法を取り入れた。このプロジェクトは、FAO の南南協カスキームとアフリカライスが実施している上記統計改善プロジェクトとの相乗効果を活用して、アセアン諸国で実施している手法を用いている。

第7章 ドット標本調査法に関するよくある質問

本章では、ドット標本調査法の開発、普及過程でよく質問された事項について、質疑応答の形式で取りまとめた。

問 Google Earth の解像度は、面積調査に耐え得るか。

答 Google Earth の解像度は、ドット標本調査法の結果に影響を与えない。これは、ドット標本調査法における Google Earth の主たる役割が標本を訪問するための道案内だからである。

しかしながら、Google Earth のもう一つの役割として、第2章で述べたとおり、面積調査の準備調査の段階では、Google Earth から土地利用状況を判断して現地調査の必要がない箇所を判断することとしているので、解像度が低いと土地利用状況の判断が難しくなり、現地調査すべき標本ドット数が増加するという不都合が生じ、調査に時間がかかることは事実である。ただし、現在の Google Earth の解像度は高く、面積調査の準備調査ができないほど低い解像度のものはないと考えている。

問 Google Earth の画像は古いのではないか。

答 Google Earth (Web サイト <http://www.google.co.jp/intl/ja/earth/help/>参照) によれば Google Earth の画像は1-3年の頻度で更新されているので、直ちに古いとは言い難く、ほとんどの場合問題は生じないと考えられる。

しかしながら、面積調査の準備調査の段階で水田であったところが、現地調査のときに訪問したら住宅になっているということが現実に起こるが、このような場合は、現地調査することによって修正されるので問題ない。

これとは反対に、面積調査の準備調査段階で林地と判断され、現地調査が不要な標本ドットに区分された箇所に関しては、開田事業等により水田に変更しているような場合であっても現地調査を行わないこととなってしまうので、現地の情報をできるだけ多く入手した上で準備調査を実施することが望ましい。

問 Google Earth 上で田畑を区別することは難しいのではないか。

答 これまでの経験からいうと、水田と畑の区別に関しては、水路や畦畔の有無、圃場の形状等から判断することによってかなりの確度で判定することができるものの、確かに難しい場合があることは否定できない。

しかしながら、実際には、準備調査で区別が付き難いものについては、現地調査が必要な標本ドットに区分して現地調査を行って確認することになるので、Google Earth 上で正確な判定ができなくても心配する必要はないと思われる。

問 Google Earth 上で果樹面積等は判定できるか。

答 これまでの経験からいうと、樹園地の場合は、樹木の植え付け形状や樹木そのものの形状等から樹種等まである程度まで判定できることを確認している。Google Earth 上のストリートビュー機能を使って確認できるところも多い。

準備調査で区別が付き難いものについては、現地調査が必要な標本ドットに区分して現地調査を行って確認することになるので、Google Earth 上で正確な判定ができなくても心配する必要はないと思われる。

問 現地調査で標本ドットを訪問するときには、GPS が必要ではないか。

答 これまでの経験から、GPS を使わなくても目的とする標本ドットへたどり着けることを確認している。GPS を否定する必要はないが、GPS にデータを入力する手間を考えると GPS を使わない方が効率的であろう。

調査員がパソコン(スマートフォンを含む)を持参して調査に行けるような環境であれば、第 2 章で作成した KML ファイルを調査員が開いて Google Earth の画面を見ながら現地調査を行えば間違いもなく効率的である。

パソコン等を持参できる環境にないときは、Google Earth の画面をプリントアウトした地図を調査員に渡す必要がある。不案内な箇所を訪問する場合は、最低 2 枚の案内図が必要であろう。即ち、標本ドット付近へたどり着くための道路や地形がわかる地図と、標本ドット地点の拡大図の 2 枚である。

なお、地図読みの経験が乏しいために現地にたどり着けない調査員に対しては、地図読みの技術を高める必要がある。

問 系統無作為抽出法は、東西、南北方向に道路や水路があった場合には、推計値に大きなバイアスが生じるのではないか。

答 日本では、例えば秋田県の大潟村には、数多くの農道、水路、畦畔等が東西南北方向に存在している。そこで、Google Earth 上での準備調査を標本規模 500 標本として 16 回行い、そのようなバイアスが生じるかどうかを検証してみた。その結果は、標本抽出と調査を繰り返して行く中では、標本の当り具合によって、まるでオセロゲームのように行単位、列単位で水田の有無が入れ替わるという事象も多くみられたが、単純無作為抽出法を適用した時の理論分散と比べて相対効率を求めてみると第 5 章で述べた滋賀県における系統抽出法の検証テストの時と同様に数倍の効果が見られ、標本数が多くなれば安定した推計値が得られることが確認された。

問 階層分けについては記述がないが、階層分けの必要はないのか。

答 階層分けの主要な目的は、階層毎の標本規模を変えることにより、同じ標本数の下で精度を上げることであるが、階層を設定したり、階層別の標本数を決めたりしなければならない等実務的にみて煩わしくなる上に、仮に設定したとしても階層分けに関する事前情報が十分でない場合や階層の設定の仕方によっては層別効果は余り大きくならないことが一般的に知られている。これに対してドット標本調査法は、このような意味での階層分けはせず、対象地域内に全く等密度で標本を配分しているが、このため、実務的作業が非常に単純化されている。また、現地調査に先立って、配置した各標本について耕地（耕地かも知れない）と非耕地を区分する準備作業を行っているが、この作業は現地調査の必要標本数を減らす（非耕地と判定された標本には現地調査に行かなくてよい）意義を持った一種の階層分けであり、この作業を通じて、現地調査の効率を著しく高めるとい調査設計上の目的は十分果たされることになると考えている。

問 比推定法と比べてドット標本調査法の利点は何か。

答 比推定法は、比推定母集団の編成・整備に多大な労力を必要とするが、補助変数と調査項目の相関が高い時、精度は著しく高くなり、実査標本数を大幅に減らすことができるという利点を持っている。

これに比較してドット標本調査法は、系統無作為抽出法による抽出効果が高くなるこ

とが経験的に知られており、シミュレーション結果では、同じ標本数（現地調査必要標本数との比較）でも比推定法に劣らない精度で推計値を確保できることを確認している。

このことに加え、ドット標本調査法は、補助変量を使わないことからどんな調査項目であろうが効果的に推定できるという特質を持っている。

また、ドット標本調査法では多作物を調査項目にしても現地調査や集計作業でもほとんど労力を増やすことなく簡単に推計値を得ることができること、非標本誤差が起り難いこと等の利点があることも見逃せない。

終わりに

ドット標本調査法の開発に関連してこれまで作成されてきた資料を取りまとめてみると、改めて、ドット標本調査法の威力と可能性の大きさを感ずる。一方で、あまりにも単純な手法であり、これまで積み上げてきた統計手法と大きく異なる手法であるだけに、ドット標本調査法を手がけることに対する恐れを多くの人々が感じているのも事実である。

より多くの人々がドット標本調査法を理解し、現実の統計調査に応用していただくためにさらにこの手法を発展させていきたいと考えている。

ドット標本調査法は、海外技術協力に係る多くの人々の協力によって発展を遂げてきた。Excel マクロの開発はタンザニアにおける技術協力に参加していた専門家や農林水産省統計部の職員の協力がなければでき得なかったし、ドットサンプリングの実証実験も同様に海外の研修生の協力なくしてはでき得なかった。また、アフリカライスの統計プロジェクト、FAO の南南協カプロジェクト等でドット標本調査法が取り入れられたこと等も含めて多くの人々の協力の成果が今のドット標本調査法である。実用化できることは既に証明されているが、更なる可能性を目指して今なお現在進行形で開発が進んでいる。

これまでご尽力いただいた方々に改めて感謝を申し上げますとともに、引き続き、本手法の発展へ向けて、ご意見、ご示唆をいただければ幸いです。

参考資料

神宮司一誠：ドット標本調査法について～その基本的考え方、効率性、信頼性についての検討～、2015年12月

神宮司一誠：Google Earth を利用したドット標本調査法による土地利用面積調査について、法政大学 日本統計研究所、2014年10月

上倉健司：「農」の統計に係る開発途上国に対する技術協力、齊藤昭編著「農」の統計にみる知のデザイン第10章、農林統計出版、2013年4月

JINGUJI, Issei: Dot Sampling Method for area estimation, CROP MONITORING FOR IMPROVED FOOD SECURITY, FAO & ADB, 2015
(http://www.fao.org/fileadmin/templates/rap/files/Project/Expert_Meeting__17Feb2014_/P1-1_Dot_sampling_method_for_planted_area_estimation_using_Google_earth__land_use_survey__FAO_RAP_17_Feb_2014.pdf)

JINGUJI, Issei: How to Develop Master Sampling Frames using Dot Sampling Method and Google earth, December 2012
(http://www.fao.org/fileadmin/templates/ess/global_strategy/PPTs/MSF_PPTs/5.MSF_Dot_sampling_method_on_Google_Earth_Jinguji.pdf)

KUGA, Nobunori: An Experiment on Accuracy and Precision of Dot Sampling Method, February 2014

KAMIKURA, Kenji: What you can do with the Dot Sampling Method using Google Earth, Fifth meeting of the Regional Steering Committee for Asia and the Pacific for the Global Strategy to Improve Agricultural and Rural Statistics Bangkok, Thailand, 9 December 2015

KAMIKURA, Kenji: Package of Agricultural Production Survey, AfricaRice,
Cotonue, Benin, March 2013

([https://wpqr4.adb.org/LotusQuickr/agstat-ap/Main.nsf/0/6716E47F1793360B48257B5D002EC9F4/\\$file/Package%20of%20Agricultural%20Production%20Survey.pdf](https://wpqr4.adb.org/LotusQuickr/agstat-ap/Main.nsf/0/6716E47F1793360B48257B5D002EC9F4/$file/Package%20of%20Agricultural%20Production%20Survey.pdf))

KAMIKURA, Kenji: Estimation of Planted Area using the Dot Sampling Method,
FAO APCAS 24, October 2012

(http://www.fao.org/fileadmin/templates/ess/ess_test_folder/Workshops_Events/APCAS_24/Paper_after/APCAS-12-21-_Planted_Area_using_Dot_Sampling.pdf)

津村善郎：標本調査法、岩波全書、1956年6月

竹内啓：偶然とは何か、岩波新書、2010年6月

Yates, Frank: Sampling Methods for Censuses and Surveys, Charles Griffin & Co.
Ltd., 1949