土壌埋設型センサーによる茶園の施肥管理技術

静岡県茶業試験場*

岩橋 光 育

(平成 8 年 12 月 26 日受理)

Technique of Fertilizer Administration in Tea Field by Soil Buried Sensor

Mitsuiku IWAHASHI

Shizuoka Tea Experiment Station

近年、生活水準の向上により良質茶の需要が高まり、これに応えるべく良質茶生産のために、多肥栽培（窒素 100~120 kg/10 a）が行なわれている。このような多肥栽培は、根量の減少、根の活性低下だけでなく、耐病性、耐寒性の低下など茶樹を脆弱化させ、これが品質や収量に悪影響を及ぼすことが心配されている。また、茶価の伸び悩みとあわせ肥料費が経営収益率を低下させる大きな要因となっている。さらに、省資源、環境汚染防止の上からも多肥問題は全国共通の問題となっている。

このため、過剰な施肥を削減し、なおかつ健全な茶樹の育成により生葉品質向上と収量増加をめざす必要があり、従来の栽培暦に準じた施肥にかわり、茶樹の生育周期に応じて必要な養分を必要な量だけ供給する施肥技術が求められている。

この問題を解決するための一つの方法として、土壌埋設型センサーの情報によるパソコンを利用した施肥管理技術の確立が有効であると考えられる。この技術の確立のためには、①茶園での各種センサーの使用法、②窒素成分の形態変化及び下層への移動速度の解明、③生育周期に応じた土壌目標窒素濃度の策定、④目標窒素濃度に基づき、施肥時期及

び施肥量を的確に判断する施肥管理ソフトの作成、さらに⑤作成したソフトに基づいた施肥管理による生葉の収量、品質への効果の確認を行う必要があり、これらについて検討したので紹介する。

1 各種センサーの使用法

1. 1 ECセンサー測定値と土壌無機態窒素濃度との関係¹⁾

土壌埋設型センサーを利用して土壌中の窒素成分の濃度把握を試みるために、3種類の土壌について、ECセンサー（㈱藤原製作所製 SPAD-2121）の測定値と土壌無機態窒素濃度との関連性を調査した。

赤黄色土、黒ボク土については静岡県下から各 100 点、褐色森林土については岐阜県下から 75 点採取した。土壌はうね間（深さ：5~15 と 15~20 cm の 2 層）から採取し、風乾後、2 mm のふるいを通し試験に供試した。EC 測定は土壌水分が pF 1.5 になるように加水、調整し密閉後恒温（5℃）内で 1 日間安定化させ、取り出した土壌に EC センサーを挿入し、3 時間後に計測した。

その結果、赤黄色土の pF 1.5 における EC センサー測定値と無機態窒素濃度（mg/100 g）との間には、図 1 に示したとおり 0.9 以

* 439 静岡県小笠郡菊川町倉沢1706—11

図1 ECセンサー測定値と土壤無機態窒素濃度の関係

上の高い相関関係が認められた。また、他の二つの土壤についても同様の結果であった。無機態窒素濃度とECセンサー測定値との関係式は、無機態窒素濃度を y 、ECセンサー測定値(mS/cm)を x とすると、黒ボク土では $y = 7.79x - 1.22$ 、赤黄色土では $y = 7.43x - 4.33$ 、褐色森林土では $y = 6.74x - 0.20$ であった。

次に、ECセンサー測定値は同一土壤でも土壤水分の違いにより変化する。そこでセンサーを利用してより正確な無機態窒素濃度を把握するために、土壤含水率の違いがECセンサーの測定値に及ぼす影響を調査した。赤黄色土についての結果は図2に示すとおりで、EC値は土壤含水率の増加にともない直線的に低下する傾向が認められた。また、EC値の減少は各土壤ともに、ECが高い土壤ほど大きく、ECが低い土壤ほど小さくなる傾向が認められた。

図2 土壤含水率の違いによるECセンサー測定値の変化

そこで、これらの関係を利用して測定したEC値をpF 1.5状態のEC値に補正することを試みた。まず、赤黄色土の含水率(㈱エー・エス・ディー製非常線熱源ヒートプローブ型水分センサーを使用)とEC値のプロットを図2に落として高EC土に対する割合(傾き、含水率の増加によるEC値の減少程度)と、プロットを通る補正式(一次式)を試算した。この式にpF 1.5の含水率を代入することにより、赤黄色土の測定時のEC値をpF 1.5状態のEC値に補正することが可能となった。

次に土壤の無機態窒素濃度の推定は、得られたpF 1.5状態の補正EC値を図1における無機態窒素濃度 y とEC値 x の関係式に代入することにより可能と考えられた。

以上の結果をふまえECセンサー測定値と土壤含水率から土壤中の無機態窒素濃度を推定するための推定式を3土壤について以下のように作成した。式中の()の中は測定EC値をPF 1.5状態のEC値に補正するための式である。

土壤中無機態窒素濃度の推定式

A = 推定無機態窒素濃度 ($mg/土 100 g$)

B = ECセンサー測定値 (mS/cm)

C = 土壤含水率 (%)

① 赤黄色土

$$A = 7.43 \times \left(\frac{-0.121 \times (41.0 - C)}{(-0.121 \times C + 11.428)} + 1.0 \right) \times B - 4.330$$

② 黒ボク土

$$A = 7.79 \times \left(\frac{-0.096 \times (55.5 - C)}{(-0.096 \times C + 14.024)} + 1.0 \right) \times B - 1.220$$

③ 褐色森林土

$$A = 6.74 \times \left(\frac{-0.106 \times (45.0 - C)}{(-0.106 \times C + 16.872)} + 1.0 \right) \times B - 0.200$$

なお、土壤毎の推定式による無機態窒素濃度のデータは、3枚のマトリックスにして施肥管理ソフトに組み込んだ。

1. 2 センサーの設置方法

次に、茶園全体の養分状態を把握する方法

について検討した。土壌はもともと物理的にも化学的にも不均質なものであり、異なった状態で生成され集合し、さらに経時的に絶えず変化しており、これらの把握方法はそう簡単ではない。

センサーによる測定では、従来の土壌採取、調整方法²⁾とは異なり問題となるのはセンサーの感知部と土壌との接地面積がECセンサーで0.95 cm²、水分センサーで7.79 cm²とあまりに小さいために、測定しようとする茶園の代表値を得るためのECセンサーと水分センサーの埋設本数が土壌の採取点数に比べて多くなる傾向にあることである。そこでできるだけ少ないセンサーの本数で茶園のEC及び水分の代表値を得る設置方法を検討した。

(1) EC センサーの埋設の部位と深さ³⁾

EC センサー及び水分センサーの埋設の部位や深さなどについて検討を行った。EC センサーの埋設部位や深さは作物や目的によって異なるが、一般的には肥料成分と作物の生育が最も密接に関係している位置にセンサーを埋める必要がある。

そこで、適正な埋設部位を明らかにするためECセンサーをうね間と雨落ち部に埋設し、その応答性について検討を行なった。その結果、ECセンサーの応答性は施肥部位であるうね間が雨落ち部に比べて大きく、また、施肥に対する応答性が良好であった。

次に、うね間中央の深さの違い(10 cm, 20 cm, 30 cm)とECセンサーとの応答性を調査したところ、20 cm 及び 30 cm の深さに埋設した場合は両者とも調査期間(1年間)を通じて測定できたが、10 cm の深さでは土壌水分がpF 2.5 程度になるとセンサー先端での土壌溶液量不足により測定できない場合が認められた。また、施肥に伴うECセンサー測定値の変化は、深さ10 cm で大きく、20 cm, 30 cm では小さかった。

以上のことを考慮して茶園の養水分の状態を把握するためのセンサーの埋設場所と深さは、うね間中央部の深さ20~30 cm に埋設することが適当であると考えた。

(2) EC センサー及び水分センサーの埋設本数³⁾

EC センサー及び水分センサーによる養水分の状態把握のため最も効率的な埋設本数や埋設方法について検討した。

EC センサーを供試し、静岡県茶業試験場内の赤黄色土茶園(面積:10 a (20 m×50 m)、うねの方向:南北)及び隣接する黒ボク土茶園(面積:10.4 a (26 m×56 m)、うねの方向:南北)の同一のうね間にそれぞれ4 m間隔で5本、うね方向に対して直角に9 m間隔で5本、計25本をうね間の中心部の深さ20 cm に格子状に埋設し、EC 及び土壌含水率を計測した。

次に、無作為に抽出した測定値について埋設本数の違いによる測定値の平均値の変動係数は赤黄色土茶園ではセンサーの埋設本数3本、5本及び7本で各々13%、9%、7%、黒ボク土茶園では各々17%、13%、9%と本数が多くなるほど小さくなる傾向が認められた。

田中⁴⁾はバッグカルチャのかん注方式の養液栽培における全体を把握するためのECセンサーの必要本数は10 a 当たり5~10本であると報告している。

この報告に照らすと赤黄色土茶園では5本、黒ボク土では7本程度埋設すればば場を代表するEC値が得られると考えられる。しかし、センサー測定時の煩雑性や経費を考慮するとセンサーの埋設本数をさらに減らす必要があり、そのための埋設方法について検討を行った。

まず、茶園ではうね間に施肥を行うという特殊性に鑑み、埋設方向の違いによる変動係数の変化をみるため、センサーの測定値の取り扱いを無作為ではなく、うね間の格子状の25の測定値を4方向〔東西(うね間に対して直角方向)、南北、南東及び北東〕に測定値(5本)毎に平均を求め、その変動を調査した。

その結果は表1に示すように、うねに対して直角に埋設した(東西方向)場合の測定値(5本)毎の平均値の変動係数が赤黄色土茶園及び黒ボク土茶園で各々6%、5%、南北方

表1 平坦地におけるECセンサーの配置方法

解析方向	赤黄色土茶園（静岡茶試）					黒ボク土茶園（静岡茶試隣接）				
	測定値の平均値 (5本、mS/cm)		同左の 平均値	同左の変 動係数 (%)		測定値の平均値 (5本、mS/cm)		同左の 平均値	同左の変 動係数 (%)	
一東西	0.47	0.46	0.51	0.50	6	1.77	1.61	1.55	1.63	5
	0.54	0.50				1.66	1.57			
南北	0.44	0.45	0.55	0.49	12	1.38	1.14	1.87	1.63	21
	0.46	0.57				1.95	1.82			
＼南東	0.49	0.52	0.51	0.50	4	1.63	1.80	1.83	1.63	10
	0.50	0.46				1.51	1.40			
／北東	0.43	0.58	0.51	0.49	12	1.52	1.45	1.66	1.63	11
	0.45	0.50				1.83	1.67			
全体(25本)	0.49					1.63				
備考	面積1,000m ² （うね長20×50m）					面積1,456m ² （うね長26×56m）				

向で12, 21%, 南東方向で4, 10%, 北東方向で12, 11%であり, その中で東西方向, 即ちうねに対して直角に埋設して得られた測定値(5本)平均値のばらつきが最も少ない傾向が認められ, 全体平均値〔測定値の数25, 赤黄色土茶園:0.49 m S/cm(変動係数23%), 黒ボク土茶園:1.63 m S/cm(変動係数29%)〕に対する安定した平均値を得るための計測法としてはうねに対して直角に埋設するのが適当と考えられた。

さらに, うねに対して直角に埋設した場合の, 埋設本数と測定値の平均値の変動係数との関連を調査した結果を図3に示す。

図3 ECセンサーの埋設本数と測定値平均値の変動係数

注) うねに対して直角に解析

センサーを2～5本埋設した場合の平均値のばらつきを調査したところ, 赤黄色土茶園では変動係数は2, 3, 4, 5本で各々13%, 10%, 7%, 6%, 黒ボク土茶園では各々14%, 11%, 6%, 5%であり, 無作為に測定値を処理した場合にくらべて変動係数は低かった。

柳沢ら⁹⁾は確率75%における所定目標精度(信頼区間の幅/真の値%)と測定値の変動係数からサンプルの採取にあたり個体数を決定する表を作成した。すなわち採取しようとするほ場の変動係数を知れば任意の目標精度に応じた試料採取数を決定することが可能であると報告している。

茶園を代表するEC値を得ようとする場合の精度は定まっていないが, 茶園が不均一であることを考慮しても目標精度は少なくとも20～25%以下に抑えたいと考えた。さらにECセンサーの測定値の平均値の変動計数を10%以下とするとこの表から採取個体数は4本程度が妥当ではないかと判断した。これらの結果から, 平坦地における茶園の養分状態を把握するためのECセンサーの埋設本数としては, うねに対して直角方向に4本うね間の中央の深さ20 cmに埋設するのが適当と

考えられた。

また、水分センサーの埋設方法についても EC センサーと同様に設置し調査した。その結果、平坦地において茶園の土壌水分状態を把握するための水分センサーの必要配置本数は概ね 2 本で EC センサーの近くに設置するのが妥当と考えられた。

2 茶園における窒素成分の形態変化及び移動速度の解明

有機質肥料の分解や下層への移動を予測するためには、施用した肥料の土壌微生物による無機化、その後の硝化・成さらなる下層への移動を明らかにする必要がある。

2.1 地温及び土壌水分量と窒素成分の形態変化の関連性の解明

有機質肥料の分解及び硝化・成は、土壌の種類、pH、地温及び土壌水分量により大きな影響を受ける。そこで、赤黄色土、黒ボク土及び褐色森林土の土壌 pH、地温及び肥料の種類の違いと窒素成分の形態変化の関連性を調査した。供試土壌は 3 種類、肥料は 8 種類（硫安、硝安、尿素、なたね粕、魚粕、肉骨粉、IB、CDU）、各土壌の pH は 3 段階（3.1, 4.0, 5.1）、地温は 3 段階（5, 15, 25℃）の組み合わせで、窒素成分の形態変化を 90 日間にわたり調査した。得られたデータは土壌（3 種類）、pH（3 種類）、肥料（8 種類）の組み合わせ毎に 72 枚のマトリックスにして施肥

図 4 土壌の透水性の違いによる流出水の窒素濃度の変化

硝酸態窒素：——粗区 (1.1×10^{-2}) ---中区 (4.7×10^{-2})密区 (1.3×10^{-3})
アンモニア態窒素：---粗区 (1.1×10^{-2}) ---中区 (1.1×10^{-3}) ---密区 (1.3×10^{-3})
流出量：降水量換算

管理ソフトに組み込んだ。その結果、pH が異なる土壌毎にある肥料を施用した場合、日毎に地温が変化する条件下における施用した肥料成分の日毎の硝化・成による硝酸態窒素の生成量の予測が可能となった。

2.2 透水性の違いが窒素成分の移動に及ぼす影響⁶⁾

降雨による窒素成分の表層からセンサー部位までの移動を経時的に予測するための基礎データを得るために、カラム試験で透水性の違いによる窒素成分の移動速度を調査した。

黒ボク土の透水性の違い（粗，中，密）によるカラム底部からの流出水中の硝酸及びアンモニア態窒素濃度の変化を図 4 に示した。硝酸態窒素の変化をみると、粗区（透水性： 1.1×10^{-2} cm/sec）では流出量が 125 mm 程度から増加し始めた後、急激に増加し 300 mm で 186 ppm と最高に達した後に、緩やかな減少を示した。中区（ 4.7×10^{-2} cm/sec）では 175 mm 程度から増加し始めた後、急激な増加を続け 350 mm で 212 ppm と最高に達した後、以後減少した。密区（ 1.3×10^{-3} cm/sec）では 200 mm 程度から増加し始めた後、穏やかに増加し 425 mm で 244 ppm と最高に達した後に、穏やかな減少を示した。

このように、カラムからの流出水中の NO_3 -N 濃度のピークは、透水性が良好な土壌ほど速く認められ、またそのピークの変化はゆるやかな傾向を示した。また、 NH_4 -N 濃度のピークも透水性が良好な土壌ほど速く認められるが、その濃度は 25 ppm 以下と低く推移した。これらのデータから土壌表面に、ある 1 日間に生成した硝酸態窒素量のその後の降雨量の違いによる地表下 20 cm での窒素量の推定が可能となった。また、他の 2 土壌についても同様な結果が得られた。得られたデータは土壌（3 種類）の違い毎に 3 枚のマトリックスにして施肥管理ソフトに組み込んだ。

3 茶樹の生育周期に応じた土壌目標窒素濃度の策定

施肥管理を行う場合、施肥の要否の判断基

準となる土壌目標窒素濃度を定める必要がある。しかし目標窒素濃度は、土壌類型、栽培形態、地形条件などにより異なる。

そこで、適正な施肥管理を行い高品質の生葉を生産している農家を選び、黒ボク土、赤黄色土、褐色森林土について土壌毎に7ほ場（農家6ほ場、茶試1）について、施肥管理状況、土壌中無機態窒素濃度（月3回、採土部位：うね間の深さ15～20 cm）の推移を1年間調査した。無機態窒素の組成内訳をみるとアンモニア態窒素が4～5月にかけて2～3割を占めることもあるが、それ以外はアンモニア態窒素は少なく硝酸態窒素がほとんどを占めた。施肥管理の基準となる年間を通じての目標窒素濃度は、調査した土壌中無機態窒素濃度の平均値を365日間につなげ、さらに15日間の移動平均により無機態窒素濃度を算出し策定した。

策定した赤黄色土茶園における目標窒素濃度は、図5に示すように1月～2月にかけては7～8 mg/100 gと低いが、施肥に伴い、3月上旬から増加しはじめ3月下旬にかけて30 mg程度まで高まる。さらに4月上旬～6月中旬にかけて30～35 mgと高く推移し、梅雨時期である6月下旬～7月中旬にかけて30 mg以下となるが、これは降雨による肥料の流亡に起因すると思われる。その後、再び30 mgを越えた状態で推移し10月に入ると30 mg以下となり、以後11月下旬まで漸減し、12月以降は10 mg以下で推移した。また、他の2土壌についても同様な結果が得られた。策定した目標窒素濃度は施肥に伴う窒素だけでなく地力窒素からの無機化による供給の含量と考えられる。

茶園の地力窒素について鈴木⁷⁾は茶園土壌の地力窒素からの無機化は3月から始まり、6月に最大となり以後低下し、年間窒素を10 aあたり80 kg施用する場合、有機質肥料区土壌では最大、窒素として12 mg/100 g（10 a当たり換算11 kg）、慣行肥料区の土壌では5 mg/100 g（10 a当たり換算6 kg）供給されることを報告している。このため施肥にあたっては目標窒素濃度の確保のために施肥に

よる窒素の確保だけでなく、地力窒素からの供給も考慮に入れた施肥管理が必要と考える。策定した目標窒素濃度は1枚のマトリックスにして施肥管理ソフトに組み込んだ。

4 施肥管理ソフトの作成

土壌埋設型センサーの情報を利用した施肥管理のために、各種センサーの自動測定（ほ場のデータログとパソコンとは有線、もしくは無線で連絡）、測定値から無機態窒素濃度を推定し、生育周期に応じた目標窒素濃度を維持するための施肥時期及び施肥量の判断可能なパソコンを用いた施肥管理ソフトを作成した。以下、ソフトの概要を示す。

(1) 表計算ソフトから本システム内のデータベースに変換できるソフトの開発

①センサーからのデータの入力（EC、土壌含水率、地温、降水量）、

②土壌特性、施肥暦及び目標窒素濃度の入力（土壌pH、透水性、有機物含量、うね幅、施肥幅、施肥暦、肥料の種類とその組成）

③気象データの入力（過去10年間の地温、土壌含水率、降雨量、蒸散量のデータ）

④有機質肥料の無機化及び硝酸化成データ（マトリックス）の入力

（無機化、硝酸化成データ 土壌の種類、pH、地温、肥料の種類）

(2) データ解析ソフトの開発

①EC、水分センサー値からの土壌窒素濃度推定ソフト（マトリックス）の作成

②有機質肥料の無機化速度及び硝酸化成予

図5 茶園における時期別目標窒素濃度の推移
部位：うね間深さ20cm

測ソフト (マトリックス) の作成

土壌 pH, 肥料, 地温毎の硝酸化成で生成する日毎の各々の窒素生成量推定

③透水によるセンサー部位における土壌中窒素濃度予測ソフト (マトリックス) の作成

(3) 以下の表示及び出力ソフトの開発

①入力データ (土壌特性, 施肥暦, 気象及びセンサーデータ) の表示と出力

②過去の施肥に由来する今後のセンサー部位における予測窒素濃度の表示及び出力

③今後の施肥に由来する施肥後のセンサー部位における予測窒素濃度の表示及び出力

図 6 に開発した施肥管理ソフトフロチャートを示した。

このように, 土壌の種類 (3 種類), pH (3 種類) さらに透水性 (5 段階) について 45 の組み合わせの中から該当するほ場を特定した後, 肥料 (8 種類), 施用時期及び施用量を入力すれば土壌中での無機化, 硝酸化成さらに下層への移動によるうね間の深さ 20 cm での窒素濃度の推移の予測が可能となった。

さらに, 施用した肥料毎の窒素成分の推移, それらの窒素成分の含量である無機態窒素濃度推移とその時期の茶樹の目標窒素濃度とを

画面上で比較することにより肥料の種類, 施肥時期, 施用量の判断による施肥管理が可能となった。このようにして土壌埋設型センサー類, データログ, パソコン及び施肥管理ソフトからなる施肥管理システムを構築した。

図 7 に施肥管理システムにより施肥の時期, 肥料の種類及び量を決定する過程を春肥を例に示した。まず, 春肥の施用にあたり, 今後このまま施用しない場合のうね間深さ 20 cm での窒素濃度の推移をシミュレートする。この場合, 2 月末には目標窒素濃度を下回ることが推定されるため, 作業日程を考慮し, 2 月 25 日を施肥日と定め, 春肥として魚粕中心の配合肥料を使用した。次に, 配合肥料を 10 a あたり 100, 150, 200 kg と施用量を変えて今後の土壌中の無機態窒素濃度をシミュレートしたところ, 最も目標窒素濃度に適合するのは 150 kg 施用であると判断された。このようにして, 適宜に目標窒素濃度を維持するようにシミュレートし, 肥料の種類, 施用量及び施肥時期を決定し, 年間の施肥管理を行なった。

以上の結果, 各種センサーの情報によって

1 システムメニューフロチャート

3 データ解析フロチャート

2 データ入力フロチャート

4 データー一覧フロチャート

図 6 施肥管理ソフトフロチャート

土壤中窒素濃度をリアルタイムに把握し、目標窒素濃度を維持するための施肥の時期、肥料の種類及び量の判断が可能な施肥管理ソフトのシミュレート結果に基づく茶園の施肥管理が可能となった。

5 土壤埋設型センサーによる施肥管理 実用化技術の実証^{8,9)}

このシステムに基づいた目標窒素濃度に合わせた施肥管理を、静岡県茶試場内の赤黄色土茶園及び黒ボク土茶園において実施し、施肥量、生葉の収量、品質などに及ぼす影響について検討した。

施肥管理システムを利用した実証区と慣行施肥区について、1991年から3年間試験を行った。1992年の赤黄色土茶園での春肥の一例を図8に示した。まず、春肥の施用にあたりパソコンによるうね間深さ20cmでの窒素濃度の推移の予測を行い、肥料の種類、施肥時期及び施肥量を変えてシミュレートさ

図7 施肥管理システムによる施肥量決定の例

- 注1) 肥料の種類、施用量、施肥時期を変えてうね間(深さ20cm)の窒素濃度をパソコンでシミュレートし最適な施肥法を決定する。
2) 図は2月25日に春肥として配合肥料(硝安、硫安、魚粕)を施用する場合のシミュレート結果である。

せ、いつの時期にどのような肥料をどの程度施用するかを判断した。この結果に基づき春肥(I)は2月10日に硝安を10アール当り29

図8 施肥に伴ううね間深さ20cmにおける施肥窒素の予測濃度推移

注) 春配合 A 組成: 硝安、硫安、魚粕 (各々窒素成分を3.2%含有)

赤黄色土茶園

* : 1992年4月24日までのセンサーデータからの推定窒素濃度

** : 1992年4月25日～7月18日までのうね間深さ20cmでの窒素予測濃度の推移

表 2 施肥状況 (赤黄色土茶園)

年 度	実 証 区				慣 行 施 肥 区			
	施肥回数 ¹⁾	施肥量 (kg/10 a)			施肥回数	施肥量 (kg/10 a)		
		窒 素	リン酸	カ リ		窒 素	リン酸	カ リ
1991	8	86	23	52	11	118	40	79
1992	9	74	28	42	11	118	40	79
1993	9	86	26	37	11	118	40	79
平均	8.7	82	26	44	11	118	40	79

注) 苦土石灰の施用は除く

kg, 春肥 (II) は 2 月 25 日に配合肥料 (窒素成分で硝安, 硫安, 魚粕, 各々 3.2% 含有) を 156 kg (窒素 15 kg/10 a) 施用した。夏肥以降の施肥管理についても, 同様にパソコンの予測分析による施肥管理を続けた。

試験期間中の施肥状況を表 2 に示した。慣行施肥区では毎年, 10 a 当り窒素, リン酸, カリ各々 118, 40, 79 kg を 11 回に分けて施用した。一方, 実証区での施肥量及び施肥回数は, 窒素成分として 10 a 当たり 1991 年は 86 kg-8 回, 1992 年は 74 kg-9 回, 1993 年は 86 kg-9 回であり, 平均施用量は 82 kg, 施肥回数は 8.7 回であった。このように施肥管理システムによる管理では施肥回数, 施肥量共に慣行施肥区に比べて減少した。

赤黄色土茶園における 1992 年の土壤中無機態窒素濃度の推移をみると慣行施肥区では 3 月に入ると高まり, 4 月下旬に 48 mg/100 g となり, 以後 9 月中旬まで 45 mg 以上の濃度を維持した後, 漸減した。実証区 (窒素 74 kg/10 a) では 3 月に入ると濃度の急激な上昇が認められ 4 月上旬に 40 mg と最も高くなり, 以後 10 月中旬まで 30 mg 以上の濃度で推移した後, 少しずつ減少した。実証区では慣行施肥区に比べて年間を通じて概ね 10~15 mg 程度低く推移した。(図表略)

これらのことから, 今後, 目標窒素濃度の見直しやセンサーを埋設部位や深さを変えて設置し, 根圏全体の把握による施肥管理を行なうことにより, さらなる施肥量の削減が可能と考えられた。

赤黄色土茶園における一番茶の生葉収量は慣行施肥区の 1992 年で減収となったが, 3 年間の平均では実証区は 10 a 当たり 547 kg, 慣行施肥区は 551 kg であり, 二番茶では平均で実証区 390 kg, 慣行施肥区 400 kg と両処理区間は差は認められなかった。

(図表略)

官能審査による製茶品質は外観, 内質ともに, 各年一番茶, 二番茶ともに区間で差は認められなかった。(図表略)

新芽の全窒素濃度は一番茶, 二番茶共に, 区間での濃度の差は認められなかった。このように実証区と慣行施肥区の間で生育, 収量及び品質において差は認められなかった。

以上の結果, 開発した施肥管理システムを利用し目標窒素濃度を維持する管理を行なうことにより, 慣行施肥区に比べ少ない施肥量で同等の収量, 品質を得ることができた。

6 お わ り に

この施肥管理システムの導入により, 農家が簡便にしかもリアルタイムに土壤中の無機態窒素濃度の把握ができると共に, パソコンを利用して適切な施肥時期, 施肥量を計算し, 農家自身の判断による施肥管理を行なうことにより施肥量の削減が可能となり農家の経営安定に寄与するものと考ええる。このシステムは開発後, 静岡県下の 2 メーカーにより, 操作性の向上, 演算速度の短縮化, 太陽電池を利用した自動計測と無線によるデータの発受信など大幅な改良がなされている。本県では

平成6年度に、開発した施肥管理システムを国庫補助金を導入した補助事業の対象とし、現在まで、普及所、茶農協、経済連を中心に設置が広がっている。また、設置したほ場での施肥管理のみならず、普及センター、農協などにおけるパソコン利用による農家への適確なる施肥指導、さらに、年間のシミュレートによる施肥設計の構築に利用され具体的な施肥量の削減が広がりつつある。

今後ますます茶園からの環境負荷軽減が強く求められると考えるが、このシステムに関して今後検討しなければならない問題点は少なくない。例えば、①無機態窒素濃度計測精度の向上：ECセンサーは土壤溶液の硝酸態窒素だけでなく硫酸、塩素、石灰や苦土などの他のイオンも同時に計測している。茶園では窒素肥料の多肥による窒素成分の組成が大きいためECとの相関が高いという面もあり、目的とする無機態窒素濃度の計測精度を更に高めるため、他成分の計測による補正等の検討が必要である。②ECセンサー使用方法の改善：センサーをうね間の深さ20cmに埋設するため、アンモニア態窒素の検出感度は小さい。アンモニア態窒素の吸収効率を高めるための施肥管理とそれに伴う部位や深さなどについてセンサー使用方法の改善が必要と考える。また、茶園全体の代表EC値把握の精度改善のためにセンサーの計測接地面積拡大も一つの方法である。③施肥管理システムのメンテナンスの簡易化：ECセンサーは、センサー異常値のチェック、ケーブルの獣による断線対策や3ヶ月毎にセル常数補正の簡素化などの改良が求められている。④策定した目標窒素濃度の見直しによる最適窒素濃度の解明、⑤設置した地域間のデータや効果に関する情報交換、更に⑥県下の主要な地点間のネットワークによる情報交換と発信、⑦多肥栽培がなされている他の作物への適応

性等が残されており、今後検討していかねばならないと考える。

これら一連の研究は地域重要新技術開発促進事業(主査県：静岡県、共同県：神奈川県、岐阜県、1989年～1992年)で実施したものであり、研究方向の検討以来、日常の研究で良きパートナーとして助けていただいた栽培研究室の森田明雄、鈴木則夫の両氏、その他多くの関係者の方々に厚く感謝いたします。

7 引 用 文 献

- 1) 岩橋光育(1992)：土壌埋設型センサーを利用した茶園土壌の無機態窒素，静岡茶試研報 16, 35～41
- 2) 農水省農蚕園芸局(1979)：土壌，水質及び作物体分析法：1～2
- 3) 岩橋光育(1994)：土壌埋設型センサーの埋設方法，静岡茶試研報 18, 43～46
- 4) 田中和夫(1987)：固形培地新素材およびセンサの開発，農業及び園芸 62, 111～118
- 5) 柳沢宗男・高橋治助(1959)：作物の試料採取方法に関する研究，土肥誌 30, 297～301
- 6) 岩橋光育・森田明雄(1996)：黒ボク土壌における透水性と有機物混合率の違いが窒素成分の移動に及ぼす影響，茶研報 84, 投稿中
- 7) 鈴木則夫(1996)：有機質肥料施用茶園の地力窒素の評価，静岡茶試研報 20, 1～6
- 8) 岩橋光育(1989)：土壌埋設型センサーの情報による茶園の施肥管理，土肥誌講演要旨集 35, 323
- 9) 岩橋光育・鈴木則夫・森田明雄(1995)：土壌埋設型センサーを利用した施肥管理システムによる施肥管理，静岡茶試研報 19, 49～58