

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5034052号
(P5034052)

(45) 発行日 平成24年9月26日(2012.9.26)

(24) 登録日 平成24年7月13日(2012.7.13)

(51) Int.Cl.		F I			
AO1G	7/00	(2006.01)	AO1G	7/00	603
AO1G	23/00	(2006.01)	AO1G	23/00	551Z
G06T	1/00	(2006.01)	G06T	1/00	280

請求項の数 8 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2007-550248 (P2007-550248)	(73) 特許権者	304020177
(86) (22) 出願日	平成18年12月15日 (2006.12.15)		国立大学法人山口大学
(86) 国際出願番号	PCT/JP2006/325084		山口県山口市吉田1677-1
(87) 国際公開番号	W02007/069736	(74) 代理人	100093687
(87) 国際公開日	平成19年6月21日 (2007.6.21)		弁理士 富崎 元成
審査請求日	平成21年7月21日 (2009.7.21)	(74) 代理人	100106770
(31) 優先権主張番号	特願2005-361386 (P2005-361386)		弁理士 円城寺 貞夫
(32) 優先日	平成17年12月15日 (2005.12.15)	(74) 代理人	100139789
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		弁理士 町田 光信
(31) 優先権主張番号	特願2006-272055 (P2006-272055)	(72) 発明者	山本 晴彦
(32) 優先日	平成18年10月3日 (2006.10.3)		山口県山口市吉田1677-1 国立大学
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		法人山口大学農学部内
		(72) 発明者	岩谷 潔
			山口県山口市吉田1677-1 国立大学
			法人山口大学農学部内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 樹体生産能力を評価する方法及び樹体生産能力を評価するための撮像装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

孤立して存在する樹体または間隔をおいて複数存在する個々の樹体について樹体の透過光を測定することにより樹体生産能力を評価する方法であって、

1本の樹体の主幹を軸として樹高及び平均樹冠半径をそれぞれ2つの径とする上に凸の回転半長円体とする回転半長円体モデルを決定することと、

該主幹から所定の距離だけ離れた地面近辺の位置に光学的樹体構造測定装置を入射光軸が水平面に対して垂直上方に向くようにして配置して該光学的樹体構造測定装置により測定対象となる複数の天頂角で入射し樹葉を通過した光の強度を測定することと、

天空からの光が遮られない位置に光学的樹体構造測定装置を入射光軸が水平面に対して垂直上方に向くようにして配置して該光学的樹体構造測定装置により測定対象となる前記複数の天頂角での入射光の強度を測定することと、

前記複数の天頂角で入射し樹体を通過した光の強度と樹体を通過しない光の強度とから該複数の天頂角での空隙率を求めることと、

測定対象とする前記複数の天頂角に対して入射光が回転半長円体モデルでの回転半長円体面における入射点から前記光学的樹体構造測定装置までに通過する光路長及び樹冠体積を回転半長円体モデルに基づいて計算することと、

前記複数の天頂角での空隙率と前記複数の天頂角に対応する光路長とから各天頂角に対応する光の減衰量を求めることと、

該光の減衰量から葉面積密度を求めこれと前記樹冠体積とから樹体総葉面積を求めるこ

10

20

とと、

からなることを特徴とする樹体生産能力を評価する方法。

【請求項 2】

前記測定された複数の天頂角での入射光の強度から、次式(1)

【数 1】

$$T(\theta_i) = \frac{\text{天頂角 } (\theta_i) \text{ における群落下部の光強度}}{\text{天頂角 } (\theta_i) \text{ における群落上部の光強度}} \dots (1)$$

により該複数の天頂角での空隙率 $T(\theta_i)$ を求め、次式(2)

【数 2】

$$LAD = -2 \sum_{i=1}^s \frac{\ln(T(\theta_i)) w(\theta_i)}{S(\theta_i)} \dots (2)$$

により葉面積密度(LAD)を求めるようにしたことを特徴とする請求項 1 に記載の樹体生産能力を評価する方法。

【請求項 3】

孤立して存在する樹体または間隔において複数存在する個々の樹体について、樹体の透過光を測定することにより樹体生産能力を評価する方法であって、

1本の樹体の主幹を軸として樹高及び平均樹冠半径をそれぞれ2つの径とする上に凸の回転半長円体とする回転半長円体モデルを決定することと、

該主幹から所定の距離だけ離れた地面近辺の位置に魚眼レンズを装着した撮像装置を入射光軸が水平面に対して垂直上方に向くようにして配置することと、

前記撮像装置により測定対象となる複数の天頂角からの入射光を含む画角の画像を撮像することと、

前記撮像装置により取得された画像データについて前記複数の天頂角での入射光の開空度を求める演算処理を行うことと、

測定対象とする前記複数の天頂角に対して入射光が回転半長円体モデルでの回転半長円体面における入射点から前記撮像装置までに通過する光路長及び樹冠体積を回転半長円体モデルに基づいて計算することと、

前記複数の天頂角からの入射光の開空度と前記複数の天頂角に対応する光路長とから各天頂角に対応する光の減衰量を求めることと、

該光の減衰量から葉面積密度を求めこれと前記樹冠体積とから樹体総葉面積を求めることと、

からなることを特徴とする樹体生産能力を評価する方法。

【請求項 4】

前記撮像装置により撮像された画像について、次式(5)

【数 5】

$$T(\theta_i) = \frac{\text{天頂角 } (\theta_i) \text{ における葉間隙ピクセル数}}{\text{天頂角 } (\theta_i) \text{ における総ピクセル数}} \dots (5)$$

により前記複数の天頂角での入射光に対する開空度を $T(\theta_i)$ 求め、次式(2)

【数 2】

$$LAD = -2 \sum_{i=1}^s \frac{\ln(T(\theta_i)) w(\theta_i)}{S(\theta_i)} \dots (2)$$

により葉面積密度(LAD)を求めるようにしたことを特徴とする請求項 3 に記載の樹体生産能力を評価する方法。

【請求項 5】

前記回転半長円体モデルを、主幹を軸として樹高及び平均樹冠半径をそれぞれ2つの径とする上に凸の回転半楕円体モデルとしたことを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項

10

20

30

40

50

に記載の樹体生産能力を評価する方法。

【請求項 6】

魚眼レンズと、該魚眼レンズの結像位置に配設された撮像素子と、該撮像素子により取得された画像データについて演算処理を行う演算回路と、該演算回路による演算結果を出力する出力部とを備えてなる撮像装置であって、前記演算回路は、孤立して存在する樹体または間隔において複数存在する個々の樹体について樹体の透過光を測定する際に、1本の樹体の主幹から所定の距離だけ離れた地面近辺の位置に前記撮像装置を入射光軸が水平面に対して垂直上方に向くようにして配置して撮像し取得された画像について測定対象となる複数の天頂角をそれぞれ含む複数の角度範囲の画像部分における画像データから前記複数の角度範囲での開空度を求め、前記樹体についてその主幹を軸とし樹高及び平均樹冠半径をそれぞれ2つの径とする上に凸の回転半長円体として決定された回転半長円体モデルに基づいて前記複数の天頂角に対して入射光が回転半長円体モデルでの回転半長円体面における入射点から前記撮像装置まで通過する光路長及び樹冠体積を求め、前記開空度と前記複数の天頂角に対する光路長とから各天頂角を含む角度範囲に対応する光の減衰量を求め、該光の減衰量から葉面積密度を求めこれと前記樹冠体積とから樹体総葉面積を求める演算処理を行うものであることを特徴とする樹体生産能力を評価するための撮像装置。

10

【請求項 7】

前記演算回路は取得された画像データについて、次式(5)

【数 5】

$$T(\theta_i) = \frac{\text{天頂角}(\theta_i)\text{における葉間隙ピクセル数}}{\text{天頂角}(\theta_i)\text{における総ピクセル数}} \quad \dots (5)$$

20

により前記複数の天頂角での入射光に対する開空度を $T(\theta_i)$ 求め、次式(2)

【数 2】

$$LAD = -2 \sum_{i=1}^s \frac{\ln(T(\theta_i)) w(\theta_i)}{S(\theta_i)} \quad \dots (2)$$

により葉面積密度(LAD)を求める演算処理を行うようにしたものであることを特徴とする請求項6に記載の樹体生産能力を評価するための撮像装置。

【請求項 8】

30

前記回転半長円体モデルを、主幹を軸として樹高及び平均樹冠半径をそれぞれ2つの径とする上に凸の回転半楕円体モデルとしたことを特徴とする請求項6または7のいずれか1項に記載の樹体生産能力を評価するための撮像装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、樹体生産能力を評価する方法、樹体生産能力を評価するための撮像装置及び樹体生産能力を評価するためのプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

40

樹体生産能力の指標の一つである樹体の葉面積を非破壊で推定する方法について、これまでに種々検討されており、その一つとして光学的樹体構造測定装置を用いて樹葉の透過光を計測することにより樹体総葉面積を推定する方法がある。これは、孤立した樹体ないし間隔において多数存在する樹体下の位置に光学的樹体構造測定装置を配置して、樹葉の透過光を計測して得られたデータを用いて樹体の総葉面積を推定し、樹体生産能力を評価するものである。

【0003】

光学的樹体構造測定装置としてプラントキャノピーアナライザー(PCA:商品名)を用いて樹体の葉面積推定を行うことについて、次のような文献に開示されている。

【非特許文献1】中野敬之「プラントキャノピーアナライザーの茶樹への適用」(日本作

50

物学会記事69(3):419-423(2000))

【非特許文献2】J.S.Broadhead et al.「Comparison of method for leaf area in three rows」Agricultural and Forest Meteorology 115:151-161(2003))

【0004】

非特許文献1では、孤立した群落である茶樹の樹列の葉面積診断にプラントキャノピーアナライザーを適用している。測定時にセンサーを樹体中心部に向け、方位方向（水平方向）の視野を規制するため開度90°のビューキャップを装着し、また天頂角方向の視野を0°から60°に規制する視野規制用フィルターを取り付けている。この方法では、葉面積推定の際に一樣な個体群の仮定のまま計算し、また、茶樹の場合に葉群に比して枝の存在量が多いために葉面積指数を過大評価することになり、葉面積推定には使用し難いものとなっている。

10

【0005】

非特許文献2では、ケニアのサバンナにおける樹木（Croton megalocarpus、Melia volkensii）の樹列の葉面積密度（単位体積当たりの葉の面積の比率）の推定にプラントキャノピーアナライザーを適用し、樹列の横断面を楕円形と仮定して推定した光路長を用い、孤立樹の測定方法に基づいて葉面積密度を算出している。この方法では、算出結果と実測した葉面積密度との相関が低くなり、そのため新たに個々の葉の傾斜角の天頂角分布を実測しそれに基づいたモデルにより算出結果と実測した値との相関を高めている。しかしながら、新たなモデルの追加のために個々の葉の傾斜角を測定するのに多大の労力と時間を要するため、実用的な方法とは言えないものであった。

20

【0006】

代表的に用いられている光学的樹体構造測定装置として、PCA（プラントキャノピーアナライザー：米国LI-COR社製のLAI-2000）があるが、これは、図1に示すようなもので、先端側の入射角148°の範囲の光を取り込む魚眼レンズを含むレンズ系、反射鏡、フィルター、検出器を含む構成であり、検出器は受光素子のシリコンが同心円状に配設されていて、5つの異なる天頂角の光を検出するようにしてあり、検出器での測定により得られたデータを処理し、コンピュータへのデータの転送制御を行うものである。

PCAでの測定対象は、一般的には個体群の高さ z の3倍以上の半径方向の広がりを持ち、方位による葉面積の分布及び高さがほぼ一樣な植物個体群であり、図2に示すような断面形状になっている。この場合、地表面で個体群の透過率を測定した際の天頂角における光路長 S （ ）は以下の式により推定される。

30

$$S() = z / \cos$$

【0007】

しかしながら、上記式の仮定の成立しない孤立した群落（孤立した1本の樹、すなわち孤立樹等）の場合、一般的には幹の根元で群落外側へセンサーを向けた透過光測定とともに、測定地点から天頂角における光路長を実測する必要がある。孤立群落の形状及び葉面積は方位により一樣ではないため、4方位程度の測定を行うことが必要になり、結局、合計20箇所（5箇所×4方位）の長さ測定（5箇所の光路長×4方位）を行う必要がある。さらに、センサーを外側に向けるため、個体群中心部上方は測定対象にならない。また、この方法で求められるのは葉面積密度（樹体単位体積当たりの葉面積）であるため、総葉面積を算出するためには群落の体積について別途測定する必要がある。

40

【0008】

本発明者は、カンキツ樹の33樹体について、PCAを用いて樹体の透過光を計測し、前述のような方位による葉面積の分布及び高さがほぼ一樣な植物個体群を想定して樹体の葉面積の推定を行った。その結果では、PCAによる葉面積指数（単位面積当たりの葉の面積の比率）と樹冠葉面積指数（樹冠を土地に投影した面積当たりの葉の面積の比率）との関係は図3に示すようになり、葉面積密度の高低に関係なく相関が低く（ $r = 0.418$ ）、分散している。このように、PCAによる葉面積指数と樹冠葉面積指数との相関が低くなる要因として、測定対象となるカンキツ樹の樹体が本来PCAの対象とする高さの

50

均一な樹体群ではないこと等が考えられる。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

光学的樹冠構造測定装置を用いたこれまでの樹冠葉面積の推定方法では、葉面積密度の低い旧葉（冬を越した葉）のみの樹体には適用できず、計測することが困難になることがあり、新葉（冬を過ぎて新たに展開した葉）と旧葉の比率の評価が行えないという問題があった。また、孤立した、あるいは間隔をおいて存在し高さが均一な樹体群とならない樹体に対して樹冠葉面積の推定を実施する場合に、実施に要する時間が多くなるとともに、測定結果として得られる葉面積指数と樹冠葉面積指数との相関が低いものとならざるを得なかつた。そのため、実施に多くの時間を要することなく、測定結果として得られる葉面積指数と樹冠葉面積指数との相関を高いものとし、また、必要な経費を少なくすることが求められていた。

10

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明は、前述した課題を解決すべく新たなものであり、本発明による樹体生産能力を評価する方法は、孤立して存在する樹体または間隔をおいて複数存在する個々の樹体について樹体の透過光を測定することにより樹体生産能力を評価する方法であって、1本の樹体の主幹を軸として樹高及び平均樹冠半径をそれぞれ2つの径とする上に凸の回転半長円体とする回転半長円体モデルを決定することと、該主幹から所定の距離だけ離れた地面近辺の位置に光学的樹体構造測定装置を入射光軸が水平面に対して垂直上方に向くようにして配置して該光学的樹体構造測定装置により測定対象となる複数の天頂角で入射し樹葉を通過した光の強度を測定することと、天空からの光が遮られない位置に光学的樹体構造測定装置を入射光軸が水平面に対して垂直上方に向くようにして配置して該光学的樹体構造測定装置により測定対象となる前記複数の天頂角での入射光の強度を測定することと、前記複数の天頂角で入射し樹体を通じた光の強度と樹体を通じない光の強度とから該複数の天頂角での空隙率を求めることと、測定対象とする前記複数の天頂角に対して入射光が回転半長円体モデルでの回転半長円体面における入射点から前記光学的樹体構造測定装置までに通過する光路長及び樹冠体積を回転半長円体モデルに基づいて計算することと、前記複数の天頂角での空隙率と前記複数の天頂角に対応する光路長とから各天頂角に対応する光の減衰量を求めることと、該光の減衰量から葉面積密度を求めこれと前記樹冠体積とから樹体総葉面積を求めることと、からなるものである。

20

30

【0011】

前記測定された複数の天頂角での入射光の強度から、次式(1)

【数1】

$$T(\theta_i) = \frac{\text{天頂角 } (\theta_i) \text{ における群落下部の光強度}}{\text{天頂角 } (\theta_i) \text{ における群落上部の光強度}} \dots (1)$$

により該複数の天頂角での空隙率 $T(\theta_i)$ を求め、次式(2)

【数2】

$$LAD = -2 \sum_{i=1}^5 \frac{\ln(T(\theta_i))w(\theta_i)}{S(\theta_i)} \dots (2)$$

40

により葉面積密度(LAD)を求めるようにしてもよい。

【0012】

また、孤立して存在する樹体または間隔をおいて複数存在する個々の樹体について、樹体の透過光を測定することにより樹体生産能力を評価する方法であって、

1本の樹体の主幹を軸として樹高及び平均樹冠半径をそれぞれ2つの径とする上に凸の回転半長円体とする回転半長円体モデルを決定することと、該主幹から所定の距離だけ離れた地面近辺の位置に魚眼レンズを装着した撮像装置を入射光軸が水平面に対して垂直上

50

方に向くようにして配置することと、前記撮像装置により測定対象となる複数の天頂角からの入射光を含む画角の画像を撮像することと、前記撮像装置により取得された画像データについて前記複数の天頂角での入射光の開空度を求める演算処理を行うことと、測定対象とする前記複数の天頂角に対して入射光が回転半長円体モデルでの回転半長円体面における入射点から前記撮像装置までに通過する光路長及び樹冠体積を回転半長円体モデルに基づいて計算することと、前記複数の天頂角からの入射光の開空度と前記複数の天頂角に対応する光路長とから各天頂角に対応する光の減衰量を求めることと、該光の減衰量から葉面積密度を求めこれと前記樹冠体積とから樹体総葉面積を求めることと、からなるものとしてもよい。

【 0 0 1 3 】

前記撮像装置により撮像された画像について、次式 (5)

【数 5】

$$T(\theta_i) = \frac{\text{天頂角 } (\theta_i) \text{ における葉間隙ピクセル数}}{\text{天頂角 } (\theta_i) \text{ における総ピクセル数}} \quad \dots (5)$$

により前記複数の天頂角での入射光に対する開空度を $T(\theta_i)$ 求め、次式 (2)

【数 2】

$$LAD = -2 \sum_{i=1}^s \frac{\ln(T(\theta_i))w(\theta_i)}{S(\theta_i)} \quad \dots (2)$$

により葉面積密度 (L A D) を求めるようにしてもよい。

前記回転半長円体モデルを、主幹を軸として樹高及び平均樹冠半径をそれぞれ 2 つの径とする上に凸の回転半楕円体モデルとしてもよい。

【 0 0 1 4 】

本発明による樹体生産能力を評価するための撮像装置は、魚眼レンズと、該魚眼レンズの結像位置に配設された撮像素子と、該撮像素子により取得された画像データについて演算処理を行う演算回路と、該演算回路による演算結果を出力する出力部とを備えてなる撮像装置であって、前記演算回路は、孤立して存在する樹体または間隔を置いて複数存在する個々の樹体について樹体の透過光を測定する際に、1本の樹体の主幹から所定の距離だけ離れた地面近辺の位置に前記撮像装置を入射光軸が水平面に対して垂直上方に向くようにして配置して撮像し取得された画像について測定対象となる複数の天頂角をそれぞれ含む複数の角度範囲の画像部分における画像データから前記複数の角度範囲での開空度を求め、前記樹体についてその主幹を軸とし樹高及び平均樹冠半径をそれぞれ 2 つの径とする上に凸の回転半長円体として決定された回転半長円体モデルに基づいて前記複数の天頂角に対して入射光が回転半長円体モデルでの回転半長円体面における入射点から前記撮像装置まで通過する光路長及び樹冠体積を求め、前記開空度と前記複数の天頂角に対する光路長とから各天頂角を含む角度範囲に対応する光の減衰量を求め、該光の減衰量から葉面積密度を求めこれと前記樹冠体積とから樹体総葉面積を求める演算処理を行うものである。

【 0 0 1 5 】

前記演算回路は取得された画像データについて、次式 (5)

【数 5】

$$T(\theta_i) = \frac{\text{天頂角 } (\theta_i) \text{ における葉間隙ピクセル数}}{\text{天頂角 } (\theta_i) \text{ における総ピクセル数}} \quad \dots (5)$$

により前記複数の天頂角での入射光に対する開空度を $T(\theta_i)$ 求め、次式 (2)

【数 2】

$$LAD = -2 \sum_{i=1}^s \frac{\ln(T(\theta_i))w(\theta_i)}{S(\theta_i)} \quad \dots (2)$$

により葉面積密度 (L A D) を求める演算処理を行うようにしてもよい。

10

20

30

40

50

前記回転半長円体モデルを、主幹を軸として樹高及び平均樹冠半径をそれぞれ2つの径とする上に凸の回転半楕円体モデルとしてもよい。

【発明の効果】

【0020】

本発明においては、孤立した、または間隔をおいた樹体に対して半長円体モデルを適用し、光学的樹体構造測定装置を用いて樹体の透過光を測定することにより、あるいは魚眼レンズを装着した撮像装置を用いて測定対象となる複数の天頂角からの入射光を含む画角の画像を撮像することにより、葉面積密度の低い樹体や旧葉のみの樹体に対しても樹体総葉面積が適切に評価でき、かつ多くの時間、労力を要することなく葉面積指数と樹冠葉面積指数との相関が高い、実測の場合と同等の測定結果が得られるという効果がある。また、魚眼レンズを装着した撮像装置を用いることにより、測定を実行するための経費を軽減できる。

10

【発明を実施するための最良の形態】

【0021】

本発明において、高さの均一な樹体群とならない、孤立した、あるいは間隔をおいて存在する樹体について樹体総葉面積を推定するにあたり、樹体について回転半長円体モデルを設定し、それに基づき光学的樹体構造測定手段あるいは魚眼レンズを装着した撮像装置を用いて測定して得られたデータから葉面積指数を求めることにより樹体生産力の評価を行う。そこで、まず回転半長円体モデルを用いた樹体生産力の評価について説明する。

【0022】

〔回転半長円体モデルを用いた樹体生産力の評価〕

図4に回転半長円体モデルの例として回転半楕円体モデルを示す。このモデルは、樹体の断面形状を、樹高と平均樹冠半径とをそれぞれ長径及び短径とする上に凸の半楕円とし、この半楕円の長径または短径の一方を軸とする回転体が樹体を表すものとして考えるものである。図4において、回転半楕円体モデルによる樹体の高さを h 、半径を a とする。 h 、 a は個々の樹体に応じて決まる量である。 S は入射光が回転半楕円体モデルでの回転半楕円体面における入射点から地表の測定点まで通過する光路長であり、天頂角（地表面に対して垂直の方向と測定方向とのなす角）によって異なる。

20

【0023】

主幹表面から距離 c の位置で地面近辺に光学的樹体構造測定装置を配置して測定対象となる複数の天頂角で入射し樹葉を通過した光の強度と、天空からの光が遮られない位置に光学的樹体構造測定装置を配置して複数の天頂角での樹葉を通過しない光の強度とを測定して複数の天頂角での空隙率を求め、あるいは、主幹表面から距離 c の位置で地面近辺に魚眼レンズを装着した撮像装置を配置して測定対象となる複数の天頂角を含む画角の撮像を行い取得された画像データについて演算処理を行って測定対象となる複数の天頂角で入射した光についての開空度を求める。

30

【0024】

〔光学的樹体構造測定装置による測定〕

回転半楕円体モデルに基づき代表的な光学的樹体構造測定装置であるプラントキャノピーアナライザー（PCA）を用いて実際に樹体生産力を評価し、測定の有効性について、カンキツ樹の樹体を対象として検証を行った例について説明する。カンキツ樹の場合、主幹の径は10cm程度で、主幹表面からの距離 c は数10cm（20～100cm）程度になる。 c の値を設定し、主幹表面からの距離が c で地面近辺にPCAを入射光軸が鉛直上方を向くように配置して樹葉を透過した光の強度（群落下部の光強度）を計測した。また、天空からの光が遮られない位置にPCAを入射光軸が鉛直上方を向くように配置して複数の天頂角での入射光の強度（群落上部の光強度）を測定した。天空からの光が遮られない位置としては、樹体と同等の高さ、またはそれ異常の高さとするのがよい。PCAでは図4において異なる5つの天頂角（ $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_5$ ）の方向について、樹葉を透過した光の強度を計測するものであり、用いたPCAでは、天頂角は、それぞれ $7^\circ, 22^\circ, 38^\circ, 52^\circ, 68^\circ$ としてある。

40

50

【 0 0 2 5 】

P C Aでの測定は、太陽の直達光が卓越する条件においては過小評価になるので、太陽光を直接受けないように散乱光が卓越する曇天日、もしくは晴天日の場合に太陽高度が低く直達光の影響が少ない早朝あるいは夕方に行うことが良好な測定結果を得るために望ましい。

【 0 0 2 6 】

回転半楕円体モデルの場合、各天頂角 $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_5$ に対して入射光が回転半楕円体モデルでの回転半楕円体面における入射点から測定点まで通過する光路長 $S(\theta_1) \sim S(\theta_5)$ がそれぞれ求められる。ただし、P C Aを配置した測定位置が回転半楕円体の軸となる主幹から外れていることにより、光路長は方位によって異なる。そのため、どの方位による光路長を規定しておく必要があり、ここでは、P C Aの位置から主幹の付け根に向かう方位での光路長を $S(\theta_1) \sim S(\theta_5)$ とする。各光路についてP C Aで計測した樹葉を透過した光の強度（群落下部の光強度）及び樹葉を透過しない光の強度（群落上部の光強度）と光路長（ $S(\theta_i)$ ）とから光量の減衰量が求められる。回転半楕円体モデルを用いて得られた葉面積密度（L A D）に、同様に半楕円体モデルによる寸法データから算出した樹体体積（V）を乗ずることで樹体総葉面積（L A）が算出される。

【 0 0 2 7 】

まず、式（1）

【数1】

$$T(\theta_i) = \frac{\text{天頂角 } (\theta_i) \text{ における群落下部の光強度}}{\text{天頂角 } (\theta_i) \text{ における群落上部の光強度}} \quad \dots (1)$$

により天頂角 θ_i での空隙率（透過率） $T(\theta_i)$ を求め、このように求められた $T(\theta_i)$ と式（2）

【数2】

$$LAD = -2 \sum_{i=1}^5 \frac{\ln(T(\theta_i)) w(\theta_i)}{S(\theta_i)} \quad \dots (2)$$

（ $w(\theta_i)$ は天頂角ごとの重み付け係数である。）により葉面積密度（L A D）を求め、次に、回転半楕円体モデルにより樹冠体積（V）を式（3）

【数3】

$$V = \frac{4\pi R_m^2 \times H}{3} \quad \dots (3)$$

（ R_m は平均樹冠半径（m）、Hは樹高（m）である。）により求め、式（2）と式（3）とから、総葉面積（L A）を式（4）

【数4】

$$LA = LAD \times V \quad \dots (4)$$

により求める。

【 0 0 2 8 】

本発明において、回転半楕円体モデルによるP C Aでの測定をカンキツ樹の19樹体について行った。主幹の根元から距離 c が60cmの地表位置に樹体中心部に向けてP C Aを配置して測定した。測定項目としては、P C Aから樹体中心部に向かう方位として4方位の透過光の測定と、樹体の寸法（4方位の樹冠半径と樹高の5箇所）となる。樹体形状を、4方位の樹冠半径を平均した平均樹冠半径をもつ上に凸の回転半楕円体と仮定しているため、上記5箇所の寸法測定により、樹冠体積（V）と測定地点での各天頂角 θ_i での光路長を推定可能である。

【 0 0 2 9 】

10

20

30

40

50

一方、対比のために実測により、樹体の葉面積を求めた。これは、樹体の葉の枚数を計数し、サンプル的に選んだ数十枚の葉の面積を計測し、それから総葉面積を求めるものである。上記PCAを用いた測定により得られた樹体の葉面積密度（樹体単位体積当たりの葉面積：LAD）と実測による葉面積密度とを対比して、図5に示す結果が得られた。この場合回帰直線の傾きはほぼ1となり、また、かなり高い相関（ $r = 0.617$ ）が得られた。

【0030】

回転半楕円体モデルに基づいてPCAを用いて得られた樹体総葉面積と実測による樹体総葉面積との関係を図6に示す。同図において、きわめて樹体が大い1点だけ大きく外れているが、全体として非常に高い相関（ $r = 0.897$ ）が得られている。

10

【0031】

なお、本発明の実施例としては、回転半長円体モデルとして、上に凸の半楕円を中心軸の周りに回転した形状を考えたが、これはモデルにより光路長を計算する上での手法であり、回転体の断面形状は単に二次曲線としての楕円に限らず、光路の計算に利用できる他の曲線としてもよく、回転半長円体は回転半楕円体、あるいは特殊な場合として半球体を含む、より一般的な回転体の形状として考えることができ、樹体の形態に応じて適宜使い分けられるものである。

【0032】

従来のPCAによる樹冠葉面積指数の推定方法では、葉面積密度の低い樹体には適用できず、また、旧葉のみの樹体を計測すること、新旧葉比の評価が行うことが困難であった。これは旧葉のみの樹体が新葉展開により葉面積を増加していく過程においては、葉面積密度と樹体体積との両方が増加するというにもよるのであるが、その点からも本発明による半長円体モデルとPCAとを用いた総葉面積推定の方法は樹体生産力の評価指標として非常に有効であると言える。

20

【0033】

また、PCAを用いた従来の総葉面積の推定方法では、本発明のように回転半楕円体モデルを用いていないので、20箇所の光路長（5箇所の光路長×4方位）を測定する必要があり、葉面積密度から総葉面積を算出するために、群落の体積を別途測定する必要があって、測定に多くの時間、労力を要しており、さらに、PCAを主幹の根元に配置して外方に向けるため、樹体中心部上方が測定対象とならないなどの要因があって、良好な測定結果が得難いものであった。それに対し、本発明による総葉面積の測定方法では、これらの難点が解消され、従来の方法に比べて実施に要する時間が1/3以下になると言える。

30

【0034】

〔魚眼レンズを装着した撮像装置による測定〕

回転半長円体モデルにより、光学的測定手段として魚眼レンズを装着した撮像装置（デジタルカメラ）を用いた測定によっても、樹体の総葉面積を推定できる。本発明において、回転半長円体モデルとして図4に示すような上に凸の回転半楕円体モデルを考え、主幹の表面からの距離 c が30cmの位置で値面近辺の位置に視野角184度の全周魚眼レンズを装着した撮像装置を、レンズを鉛直上方に向けて配置し、撮像することにより測定を行った。撮像の際の天候、時間等の条件はPCAを用いた場合と同様である。

40

【0035】

撮像装置では撮像素子（CCD）により二次元的な輝度分布を示す画像が得られるが、その画像をパーソナルコンピュータに取り込み、画像解析を行って開空度を算出することにより、PCAの場合と同様に総葉面積を求める。PCAのシステムにおいて同心上に配置された測光素子により5つの天長角 $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_5$ （ $7^\circ, 22^\circ, 38^\circ, 52^\circ, 68^\circ$ ）の方向について樹葉を透過した光の強度を計測するのであるが、撮像装置による画像を用いる場合、画像において分布する輝度を幹と葉群を含む樹体の部分とそれ以外の部分（主として天空）とに分けて2値化した後に、それぞれ5つの天長角 $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_5$ を中心とした設定した角度範囲（ $0 \sim 14^\circ, 15 \sim 29^\circ, 30 \sim 44^\circ, 45 \sim 59^\circ, 60 \sim 74^\circ$ ）について樹体部分（黒）と天空部分（白）と

50

のそれぞれのピクセル数を計数し、式(5)

【数5】

$$T(\theta_i) = \frac{\text{天頂角}(\theta_i)\text{における葉間隙ピクセル数}}{\text{天頂角}(\theta_i)\text{における総ピクセル数}} \quad \dots(5)$$

により開空度 $T(\theta_i)$ を求める。開空度は、光学的樹体構造測定装置を用いた場合の開空率と同等のものとして規定される量である。開空度の計算は、撮影全方位範囲のうち主幹部を向いた中心角 90° の扇形部分について行った。さらに、この開空度 $T(\theta_i)$ と、回転半楕円体モデルにより求めた光路長 $S(\theta_i)$ とから、式(2)

【数2】

$$LAD = -2 \sum_{i=1}^s \frac{\ln(T(\theta_i)) w(\theta_i)}{S(\theta_i)} \quad \dots(2)$$

($w(\theta_i)$ は天頂角ごとの重み付け係数であり、 $T(\theta_i)$ は天頂角に対応する開空度である。)により葉面積密度 LAD を求め、回転半楕円体モデルにより樹冠体積 (V) を式(3)

【数3】

$$V = \frac{4\pi R_m^2 \times H}{3} \quad \dots(3)$$

(R_m は平均樹冠半径 (m)、 H は樹高 (m) である。)により求め、式(6)と式(3)とから、総葉面積 (LA) を式(4)

【数4】

$$LA = LAD \times V \quad \dots(4)$$

により求める。葉面積密度の算出において、主幹部を画像内に多く含む 68° ($60 \sim 74^\circ$) の値を除いている。

このようにして、魚眼レンズを装着した撮像装置での撮像により取得された画像データからの演算処理により樹体総葉面積が求められる。一方で、樹体の葉の枚数を計数し、サンプル的に選んだ数十枚の葉の面積を計測し、それから総葉面積を求めることにより実測値を得ている。

【0036】

魚眼レンズを装着した撮像装置による画像を用いた測定により得られた樹体の葉面積密度 (LAD) と実測による葉面積密度とを対比して、図7に示す結果が得られた。この場合、PCAを用いた場合よりも相関が高くなっており(それぞれ $R^2 = 0.553, 0.472$)、過小評価傾向は魚眼レンズを装着した撮像装置を用いた場合により大きくなっている。これは、葉群の重なりが存在する場合の測定機器への影響の程度が異なるためであると考えられ、魚眼レンズを装着した撮像装置による画像では葉群が何枚重なっても画像に写らなければ評価できないのに対して、PCAでは透過光を測定するために葉群の重なりをある程度まで評価できることによるものと考えられる。

【0037】

回転半楕円体モデルに基づいて魚眼レンズを装着した撮像装置を用いた測定により得られた樹体総葉面積と実測による樹体総葉面積とを対比して、図8に示す結果が得られた。他の値から大きく外れた1点を除外して、魚眼レンズを装着した撮像装置の場合にも、PCAの場合と同様に高い相関が得られている(それぞれ $R^2 = 0.764, 0.790$)。

魚眼レンズを装着した撮像装置を用いる場合、測定に要する経費をPCAの場合よりも少なくすることができる。また、PCAの場合には受光素子が各天頂角に対応する同心円状のものであるために、測定結果が受光素子上の1点で受ける強い光の影響を受けることがあるが、デジタルカメラでの撮像素子は多数の画素ごとに受光した結果を用いるために

10

20

30

40

50

、このような強い光の影響は少ないと言える。さらに、魚眼レンズを装着した撮像装置の場合にも、回転半長円体モデルとして、縦方向の断面形状を楕円以外のものとしてもよいことは、PCAの場合と同様である。

【0038】

樹体生産能力を評価するための魚眼レンズを装着した撮像装置は、図9に示すように、撮像光学系の魚眼レンズ1、撮像素子(CCD)2、撮像駆動回路3、ディスプレイ4を含む撮像装置としての構成に加えて、複数の天頂角に対する開空度を求め、葉面積密度、樹体総葉面積を求める演算処理を行うための演算回路5を含むものとする。演算回路5は撮像装置のボディ内にICチップを内蔵した形態としてもよく、あるいは撮像装置のI/O端子6を介して接続されるユニットの形態としてもよい。さらに、このような内蔵型あるいは外部接続ユニット型の演算回路に対し、演算に必要なパラメータ(樹体の高さ、平均樹冠半径等)の入力手段を備えるようにする。

10

【0039】

このように、魚眼レンズを装着した撮像装置に演算回路を備える形態でない場合には、撮像装置により取得された画像を記憶したメモリーカードを用いて、パーソナルコンピュータにより樹体生産能力を評価するための演算を行うか、撮像装置のI/O端子から画像データをケーブルを介してパーソナルコンピュータに転送してパーソナルコンピュータにより樹体生産能力を評価するための演算を行う。本発明は、このように撮像装置により取得された画像データから回転半長円体モデルに基づいて葉面積密度、樹体総葉面積を求める演算処理を行うためのプログラムとしても特徴づけられるものである。

20

【図面の簡単な説明】

【0040】

【図1】樹冠構造測定装置の概略的構成を示す図である。

【図2】測定対象となる一般的な樹体群の断面形状を示す図である。

【図3】PCAを用いた従来の方法により得られた葉面積指数と樹冠面積指数との関係を示すグラフである。

【図4】回転半楕円体モデルについて説明する図である。

【図5】PCAを用いて回転半楕円体モデルに基づき得られた樹体の葉面積密度と実測による葉面積密度とを対比して示すグラフである。

【図6】PCAを用いて回転半楕円体モデルを用いて得られた樹体総葉面積と実測による樹体総葉面積との関係を示す図である。

30

【図7】魚眼レンズを装着した撮像装置を用いて回転半楕円体モデルに基づき得られた樹体の葉面積密度と実測による葉面積密度とを対比して示すグラフである。

【図8】魚眼レンズを装着した撮像装置を用いて回転半楕円体モデルを用いて得られた樹体総葉面積と実測による樹体総葉面積との関係を示す図である。

【図9】魚眼レンズを装着した撮像装置の概略的構成を示す図である。

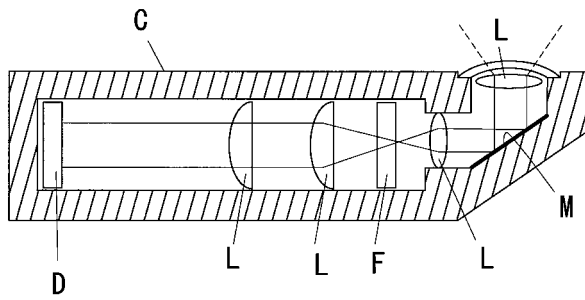
【符号の説明】

【0041】

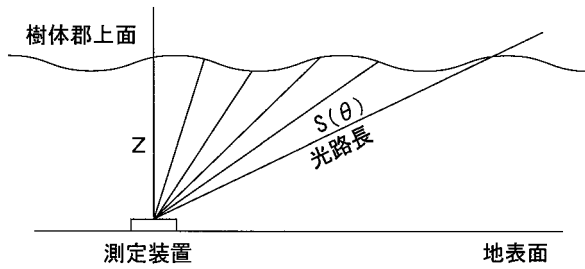
- 1 魚眼レンズ
- 2 撮像素子
- 3 撮像駆動回路
- 4 ディスプレイ
- 5 演算回路

40

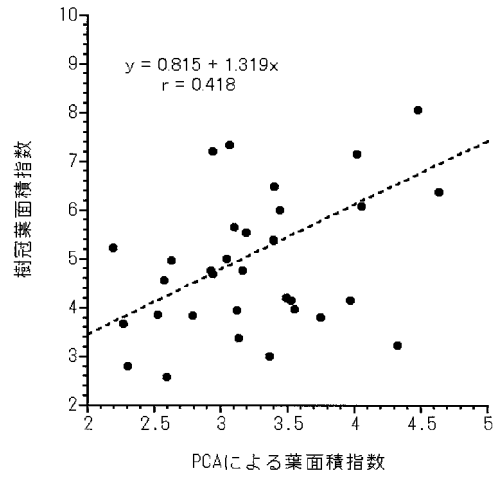
【図1】



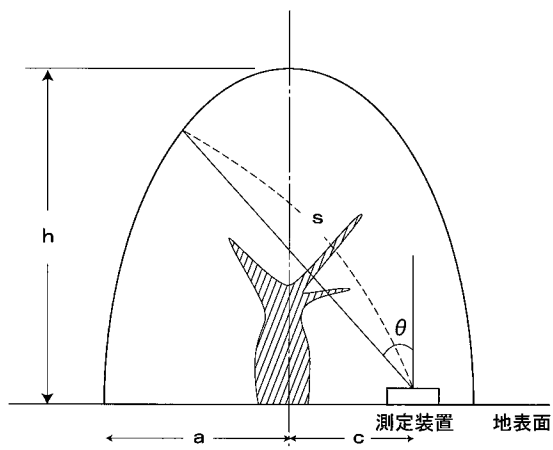
【図2】



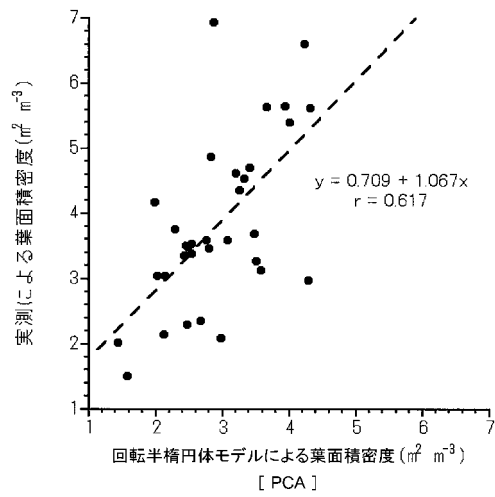
【図3】



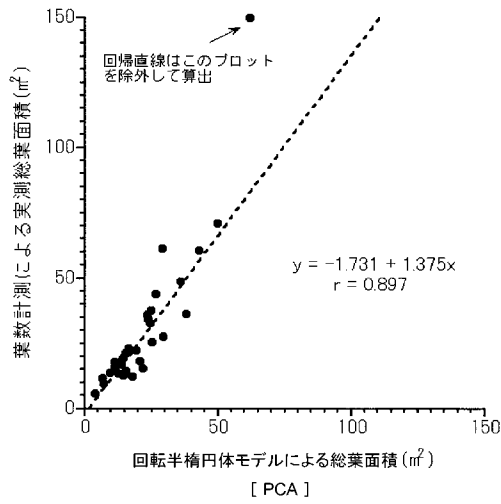
【図4】



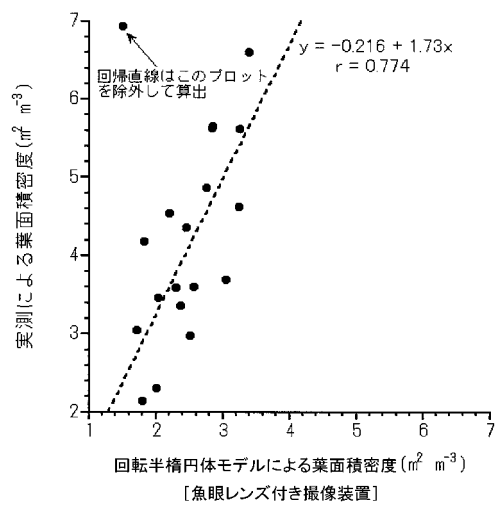
【図5】



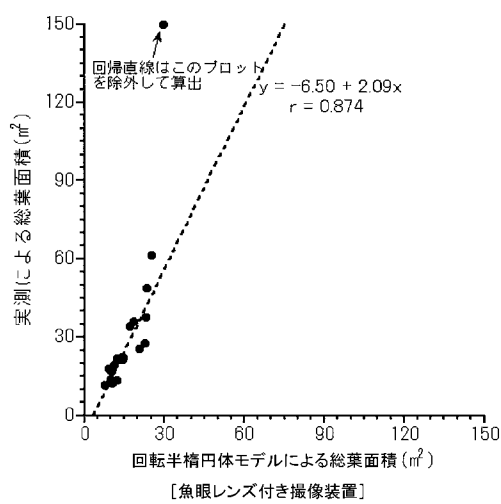
【図 6】



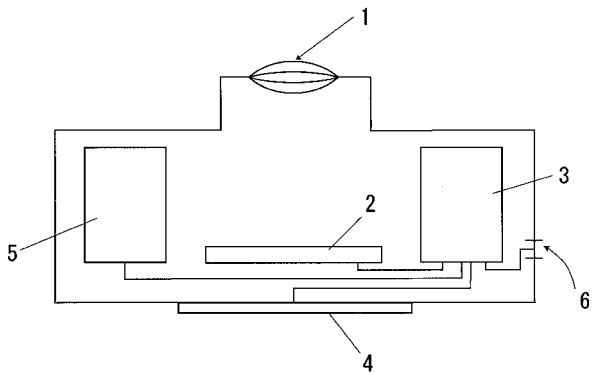
【図 7】



【図 8】



【図 9】



フロントページの続き

(出願人による申告) 国等の委託研究の成果に係る特許出願(平成15年度~19年度、農林水産省、「カンキツ経営安定のための連年果実生産システムの確率」委託研究、産業再生法第30条の適用を受ける特許出願)

(72)発明者 土谷 安司

山口県山口市吉田1677-1 国立大学法人山口大学農学部内

審査官 坂田 誠

(56)参考文献 特開2005-253407(JP,A)

特開2003-344048(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A01G 7/00

A01G 23/00

H04N 5/225

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamII)