

#### 4. 1. 4 実験系の運用技術開発

### Development of Technology for Application of a Closed Experimental System to Carbon Transfer Studies

野副 晋, 津賀 正一, 小松原 修, 多胡 靖宏, 中村 裕二  
環境シミュレーション研究部

Susumu NOZOE, Sho-ichi TSUGA, Osamu KOMATSUBARA,  
Yasuhiro TAKO, Yuji NAKAMURA  
*Department of Environmental Simulation*

#### Abstract

In order to verify dynamic models for estimation of  $^{14}\text{C}$  transfer from the atmosphere to edible and inedible parts of 7 crops, an experiment to examine validity of the model calculation after continuous enhancement of atmospheric  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratio during different stage in the growing period is planned for 2009. Then in FY2008, preliminary experiments were conducted to establish methods for obtaining appropriate values of atmospheric  $\delta^{13}\text{C}$  and for controlling its temporal fluctuation which will be used in the 2009 study. It was found that the overall range of spatial variation was approximately 2‰ and a point representative of the atmosphere in the plant cultivation chamber was identified. It was also confirmed that  $\delta^{13}\text{C}$  of the chamber atmosphere was stable (the range of fluctuation was within 1‰) during almost the whole lighting period.

To reconstruct realistic carbon metabolism models of humans and ruminants, experimental data concerning carbon mass flow are also necessary. It was confirmed that the amount of carbon in excrement could be accurately measured using a closed waste processing system. Necessary conditions for obtaining appropriate data about the daily cumulative respiratory  $\text{CO}_2$  amount using the animal holding and human habitation module under  $[\text{CO}_2]$  control were also obtained.

#### 1. 目的

大型再処理施設から大気中に放出される  $^{14}\text{C}$  に由来する被ばく線量を評価するため、 $^{14}\text{C}$  を対象に、大気から作物への移行を動的に評価するモデル、飼料から牛乳・牛肉への移行を推定するモデル、並びに経口摂取に伴うヒト体内での代謝を推定するモデルの開発を行っている。植物栽培モジュールでは、生育期間の各時期においてパルス的に高  $^{13}\text{CO}_2$  濃度大気に作物をばく露した実験で得られたデータに基づき作成した作物炭素移行モデルの有効性を検証するため、生育期間の一部において連続的に大気中  $^{13}\text{CO}_2$  濃度を高めた環境中で作物を栽培する試験を平成 21 年度に行う。このため、平成 20 年度は、栽培室内大気中  $\text{CO}_2$  の  $\delta^{13}\text{C}$  値の空間的・時間的変動を抑え、

十分な精度に調整する方法の確立を目的とした試験を行った。また、牛と人に関するモデルにおいて重要な全炭素フローデータの取得法として、廃棄物処理設備では、均質な試料を得にくい排泄物の炭素量測定技術の確立を、動物飼育・居住モジュールと空気処理設備では、呼気として排出される炭素量の測定技術の確立を目的とした試験を行った。

#### 2. 方法

##### 2.1 植物系施設運用法最適化試験

(植物栽培室内大気  $^{13}\text{C}$  濃度制御試験)

3 台の植物栽培床にオーチャードグラス (*Dactylis glomerata* L.) を栽培した容積約 146  $\text{m}^3$  の人工光型植物栽培室 (Fig. 1) を用い、明期 (12 時間) には工業用

CO<sub>2</sub>と栽培室の大気から回収されたCO<sub>2</sub>が混合したCO<sub>2</sub>の注入により全CO<sub>2</sub>濃度を380 μL L<sup>-1</sup>に制御し、暗期(12時間)の最後の2時間は植物の呼吸で上昇したCO<sub>2</sub>を回収し、約600 μL L<sup>-1</sup>とした。Fig. 1に示す14点で明期における1時間ごとに3回採取した空気のδ<sup>13</sup>C値を安定同位体質量分析計で測定し、空間分布を評価した。また、全栽培床にジャガイモ(*Solanum tuberosum* L. cv. Danshaku)を栽培し、Fig. 1の「Monitoring point 2」で明期に1時間間隔で採取した空気のδ<sup>13</sup>C値を測定し、経時変化を評価した。

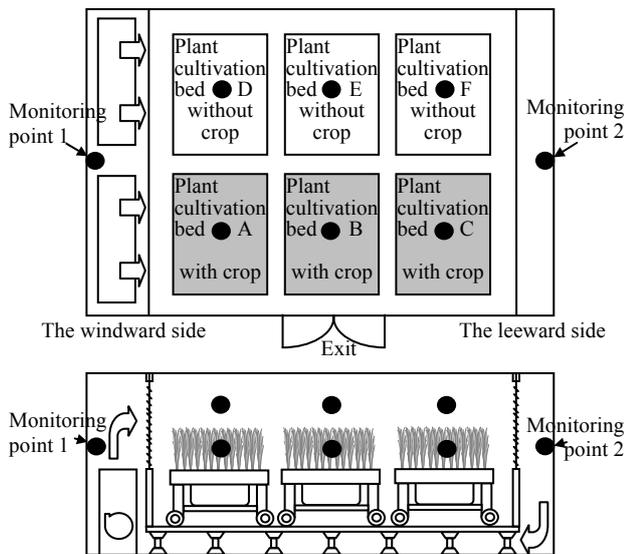


Fig. 1 The arrangement of measuring points (denoted by closed circles) in a plant chamber illuminated by artificial lighting, in which plants of orchard grass were grown on 3 of all 6 plant cultivation beds, in a test for evaluation of spatial difference in atmospheric δ<sup>13</sup>C values.

## 2.2 動物・居住系施設運用法最適化試験

### (その1: 排泄物炭素量測定技術試験)

廃棄物処理設備は炭化処理と炭化物の燃焼処理の2段階の処理を行うものであったが、排泄物試料の全炭素をCO<sub>2</sub>として高精度に回収するため、炭化処理ユニットで燃焼までの全過程を行えるように装置と処理工程を改変し、検証試験を行った。

### (その2: 呼気炭素量測定技術試験)

閉鎖系居住実験施設内に1名が滞在した際のCO<sub>2</sub>ガス排出量を、空気処理設備のCO<sub>2</sub>分離装置とマスク式の呼気ガス代謝測定装置で測定し、両者を比較した。

## 3. 成果の概要

### 3.1 植物系施設運用法最適化試験

#### (植物栽培室内大気<sup>13</sup>C濃度制御試験)

Fig. 2に閉鎖系の人工光栽培室における明期の大気中δ<sup>13</sup>C値の空間的差異を示した。δ<sup>13</sup>C値は、植物のない栽培床上では高さによる差異がないこと、オーチャードグラスを栽培した栽培床上・群落外では植物のない栽培床上・群落外より1%程、群落内では2%程高いこと、並びに植物を栽培した栽培床上・群落内におけるδ<sup>13</sup>C値は群落外より1%程高いことは、光合成炭素固定の際の同位体分別によると考えられる。このような栽培室内の植物群落内外のδ<sup>13</sup>C値の差異は、ホソムギ(*Lolium perenne* L.)を用いたSchnyder *et al.* (2003)の結果と同程度であった。全体としてδ<sup>13</sup>C値の空間的差異の範囲は2%程であり、「Monitoring point 1及び2」では全測定点の平均的値を示し、「2」での変動が小さいため、「Monitoring point 2」で代表することが妥当と考えられた。

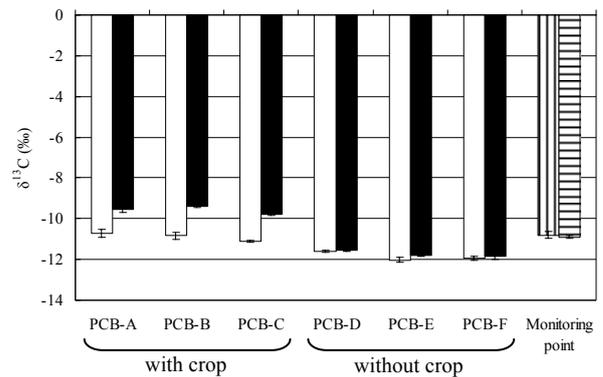


Fig. 2 An example of spatial variation in δ<sup>13</sup>C of CO<sub>2</sub> in the atmosphere of a plant cultivation chamber, in which plants of orchard grass were grown on 3 of all 6 plant cultivation beds (n=3). Open, closed, vertically-striped, and horizontally-striped columns denote δ<sup>13</sup>C values for middle level between ceiling and top of plant canopy, middle level in the canopy, “monitoring points 1” and “2” shown in Fig. 1, respectively. PCB: plant cultivation bed.

Fig. 3は閉鎖系の人工光栽培室でジャガイモを栽培した時の大気CO<sub>2</sub>のδ<sup>13</sup>C値の経時変化を示している。光合成によって大気中のCO<sub>2</sub>から炭素を固定する際の同位体分別により、植物体炭素のδ<sup>13</sup>C値は明

期の大気より低い値を持つ。この炭素が植物の呼吸により  $\text{CO}_2$  として放出されるため、暗期は大気の  $\delta^{13}\text{C}$  値が-9%から-17%まで低下した。暗期末の 7:00～9:00 には明期開始時の全  $\text{CO}_2$  濃度を低下させるため大気から  $\text{CO}_2$  の分離・回収を行ったが、明期開始後約 2 時間までは全  $\text{CO}_2$  濃度が  $380 \mu\text{L L}^{-1}$  を越えていたため栽培室内大気に  $\text{CO}_2$  は注入されず、光合成による同位体分別により大気の  $\delta^{13}\text{C}$  値は-11%まで上昇した。11:00 以降の明期の全  $\text{CO}_2$  濃度は  $\delta^{13}\text{C}$  値が約-35%である工業用  $\text{CO}_2$  と暗期末に回収された  $\text{CO}_2$  が混合した  $\text{CO}_2$  ( $\delta^{13}\text{C}$  値は-20～-25%)の注入により  $380 \mu\text{L L}^{-1}$  に制御した( $\delta^{13}\text{C}$  値の低下作用)が、光合成による同位体分別( $\delta^{13}\text{C}$  値の上昇作用)と、明期中も行われる呼吸による  $\delta^{13}\text{C}$  値の低い  $\text{CO}_2$  の放出( $\delta^{13}\text{C}$  値の低下作用)が起こっており、これらの作用が平衡し、大気の  $\delta^{13}\text{C}$  値は-10～-11 で安定することが確認された。平成 21 年度に注入  $\text{CO}_2$  の  $\delta^{13}\text{C}$  値を調整することによって大気  $\text{CO}_2$  の  $\delta^{13}\text{C}$  値を制御する実験においても、本試験同様に大気の  $\delta^{13}\text{C}$  値を安定させることができると考えられる。

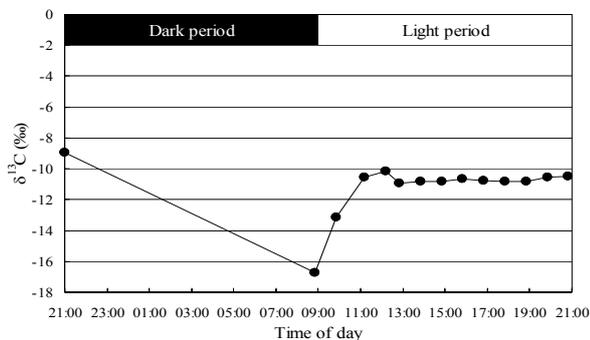


Fig. 3 An example of temporal fluctuation of atmospheric  $\delta^{13}\text{C}$  value in a plant cultivation chamber illuminated by artificial lighting, in which plants of potato were grown.

### 3.2 動物・居住系施設運用法最適化試験

#### (その 1: 排泄物炭素量測定技術試験)

廃棄物処理設備と処理過程の調整を行った結果、Fig. 4 の人糞を処理した例に示すように、排泄物中炭素のほぼ全量を  $\text{CO}_2$  に転換し、十分な精度で定量できることが確認された。

#### (その 2: 呼気炭素量測定技術試験)

Fig. 5 に、成人男子 1 名が動物・居住モジュールに 9:00 から 17:00 に 3 日に亘り入室した場合の  $\text{CO}_2$  濃

度変化の例を示す。入室直後の 1 時間は高負荷の運動を行っていたため、 $\text{CO}_2$  濃度は  $1000 \mu\text{L L}^{-1}$  程に上昇したが、その後はデスクワークを行っており、入室時間内にほぼ初期濃度まで低下した。このように  $\text{CO}_2$  濃度が制御された条件下で、 $\text{CO}_2$  分離装置による分離量と呼気ガス代謝測定装置での測定値を比較検討し、呼気として排出される炭素量の測定精度を高めるための施設内大気  $\text{CO}_2$  濃度条件、施設内滞在期間など、排出  $\text{CO}_2$  量の測定精度を高めるための条件が得られた。

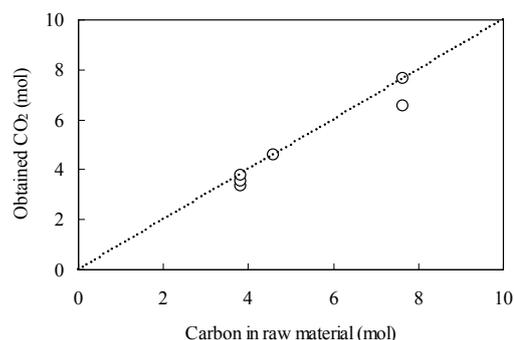


Fig. 4 The correlation between amount of carbon contained in raw material (human feces) and that in  $\text{CO}_2$  obtained during carbonization and incineration processing.

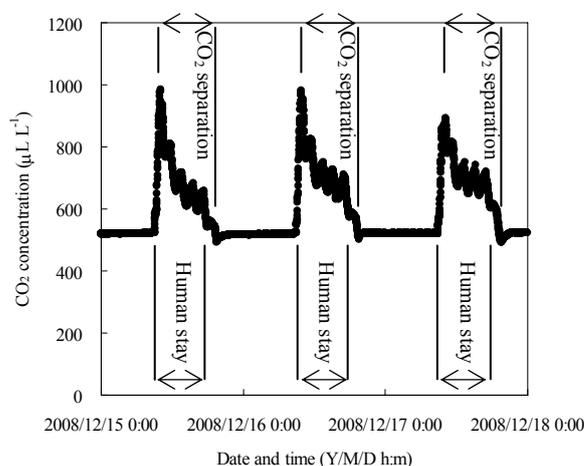


Fig. 5 An example of result of  $\text{CO}_2$  concentration control of the animal holding and human habitation module atmosphere, in which an adult man stayed intermittently (8 hours/day  $\times$  3 days).

### 引用文献

Schnyder, H. et al. (2003) *Plant, Cell and Environment*, **26**, 1863-1874.