

## 4-7 モニタリングシステムの開発

只木良也、中川有里、橋本宣子、河口順子 (株)プレック研究所)

### 1. 研究の目的

モニターとは、人・物・機械などを監視するという意味であるが、自然環境(とくに生物)モニタリングという場合は、その場所の自然界の変動を長期監視することをいい、定点を置いて長期間継続観測するのが通例で、生態監視という文字が使われることもある。

自然環境を永年定点観測することは、自然界の情報を永年継続的に獲得することであるから、モニタリングの要点は長期観測ともいえ、それには、植物・動物、大気や土壌等の環境も含めて、自然環境を構成する因子の経時的な記載がもっとも基本的な資料となる。長期継続的に得られた自然の情報は、様々な経年変化すなわち自然の動態を知る貴重な情報源資料である。

例えば対象が森林ならば、その森林の生育過程、すなわち現存量の増加過程あるいは生長過程、本数密度の推移経過などが明らかになり、これらは、森林を扱う上でもっとも基本的な資料であることはいうまでもない。それと共に、植物種組成の変化過程が明らかになることは、当該地域での遷移のパターンを推定する有力な手がかりとなる。

自然界の変化過程を把握しておくことは、自然の維持や管理、開発等人為の影響照査にも、土地利用、レクリエーション等人々の自然界の利用計画立案を誤らないためにも、またその見直しにも不可欠である。それらは、当該対象自然のみならず、その情報を発信することによって、他地域の類似自然にとっても、またとない参考資料となり得る。

しかしながら、長期モニタリングのシステム自体が確定しているわけではなく、公式の方法仕様が決まっているわけでもない。各々のモニタリング事例で、各々特徴のあるモニタリング方式が採用されるのは当然で、それが実情となっている。

自然保護地等の継続監視、1999年施行の新アセス法を背景にした開発行為の事後照査など、ますますモニタリングが重要視されるに違いない今後に向かって、その汎用的な全体としての方式・マニュアルを整備する必要がある。とくに、人為作用や開発行為の影響を受けやすい里山では、モニタリングシステムの整備は、とくに重要と考えられる。

なお、日本学術会議も2000年、次のような「新たなわが国の森林情報システムの構築」勧告を発議している。

持続的社会形成には、生物資源の存在とその持続的な利用が不可欠で、自然の状態を常に的確に知る必要があり、森林情報システムは、極めて重要な役割を果たす。森林から得られる有用な資源と各種の公益的機能が、将来にわたって確保されるよう、森林を健全な状態に維持するために不可欠な情報を効率的に収集・利用するためのシステム確立の要があり、現行の森林情報システムを、より高度で使い易いものへと改善、また分散・細分・専門化している森林科学の諸データを総合化して提供するシステムを構築すべきである。

このため、以下の事項に早急に取り組むことを提言する。

- 1) 森林生態系モニタリング調査の継続的な実施と調査内容の拡充、
- 2) 高度分解能衛星データの活用等による森林GISの早急な整備促進、
- 3) 既存情報および継続的に得られる情報の管理システムの構築、

#### 4) 各種森林情報の積極的な公開と信頼性の確保。

なお、長期観測の一つの効果として生物が環境指標となることもあげられる。環境指標とは、その生物の存在がその環境を指標することとともに、日常は人々に安らぎや快適感を提供し、環境が悪化した時にはその警報器としての役目を果たすことでもある。とくに寿命の長い樹木が構成する森林を長期観測して環境変化の指標とすることは大いに意味がある。人間の生活に近接した里山では、より重要な意味を持つが、実際に愛知県では県内に 23 ケ所の観測地点を置いた環境指標林と称する観測制度が 1975 年に発足している。

## 2. フェーズ I の成果

### 2-1. 目的と方法

当地域結集型共同研究における研究対象は「里山」であるが、モニタリングに関してはとくに里山に拘ることなく、自然環境全般を対象として汎用性のあるモニタリングを考えることにした。

モニタリングシステムの開発については、観測項目や手法の整理、さらに観測結果の整理方法や分析手法、情報化・情報発信法、これらのマニュアル化に至ることを目指した。一方、長期間に及ぶモニタリングには、便利さ・高性能、省力化・無人化の観測機器が要求されるので、上記検討過程等から要望されるそうした機器をピックアップすることにした。

自然環境モニタリングは、植物・動物・無機的環境の多分野からの情報収集であるため、それぞれの分野の調査に精通した専門家の意見や知識を集める必要がある。このため、四半世紀以上の実績を持ち、多数の自然環境調査担当者を擁する(株)プレック研究所所属の調査担当者等に、情報提供とマニュアルづくりの協力を要請した。

情報調査は、粗い原案について意見を求め、回答意見を整理して再度意見を要請することの繰り返しで、1999 年 12 月以降第 4 次調査まで行った。調査回答協力者数は約 30 名であった。

### 2-2. 結果

#### 2-2-1 自然環境モニタリング観測項目の整理

反復意見聴取の結果として、モニタリング観測項目と、それぞれの重要度や観測頻度を表 1-3 のように整理した。この表は、植物、動物、環境のモニタリング観測項目について、個々にその重要度、観測時期(季節)、観測頻度などを整理し、調査対象や調査精度によって、個々の観測項目や調査精度を選択するガイドラインを示したものである。観測項目は、ほぼ網羅できたものと思っている。

ただし、この研究では生物系が主題であるので、表 3 の非生物系環境については、生物系に関係の深いものに限った記載になっている。

表1 モニタリング観測項目とその重要度・観測頻度の整理(植物系)

大区分/ 小区分	観測項目	重要度 A,B,C	観測頻度			note
			精	中	粗	
植物/						
植物相	全種調査	A	毎年	2年	5年	広域比較。帰化種等の侵入(ルートセンサス)など、植物相の変化把握
	貴重種(RDB記載)	A	毎年	2年	5年	植物地理学的にnotableな種の記載
相観(景観)	現存植生図	B	毎年	3年	>5年	代表断面図も
群落構造	立木位置図	B	固定区 設定時			毎木調査毎に枯死木逐次記録
	種組成	A	毎年	2年	>5年	植物社会学的年次変化。固定区における階層構造・種組成の変化。
	林床型	B	毎年	2年	>5年	調査時毎に林床型区分、林床植生図作成。固定区内散在小方形区による植生高・優占度・侵入/脱落種の把握。
	齢構成	C	毎年	3年	10年	更新シードリング(出来る限り数・位置も)を含む
	樹冠投影図	C	2年	5年	10年	固定区
	群落内相対照度	B	四季	2年	5年	固定区 原則夏。林床・シードリングとの突合。
種生活史	生物季節	C	月4回	月2回	月1回	開葉・開花・落葉等、観測頻度は当該季節
	管理依存種 帰化種	B	月4回	月2回	月1回	生活史確認 発芽・花芽形成・開花・結実・枯死。観測頻度は当該季節
	埋土種子/種構成	C	10年	30年	>50年	深さ別種構成
	発芽試験	C	毎年	2年	>5年	水分・水位・温度・保存期間等の違いによる発芽能力の差
	樹木活力度	B	2年	5年	10年	リモセン利用 広域的に。判定の基準化。
植物生産/						
現存量	刈取り計測(草本)	B	毎年	2年	5年	坪刈り できる限り種別
	胸高直径測定	A	毎年	2年	5年	固定区毎木調査 立木密度算定
	樹高測定	B	毎年	2年	5年	固定区(全木でなくても良い)
	リモセン調査	B	毎年	2年	5年	広域推定
増加量	現存量増加、成長	A	毎年	2年	5年	固定区複数回現存量調査から計算
枯死脱落量	リター測定	B	毎月	年6回	-	固定区に複数リタートラップ設置
被食量		C				negligible トラップ内虫糞から推定?

表2 モニタリング観測項目とその重要度・観測頻度の整理(動物系)

大区分/ 小区分	観測項目	重要度 A>B>C	観測頻度			note
			精	中	粗	
動物/						原則全種 ルーチンとしては特定種
	哺乳類	A	年4回	年2回 春・冬	年1回 冬	年4回は春・夏・秋・冬。春は繁殖期、冬はフィールドサインが発見しやすい。
	鳥類	A	年7回	年5回	繁殖期	基本は春・繁殖期・夏・秋・冬(年5回)。渡り鳥は春と秋各2回で計年7回。繁殖期は主に夏鳥の繁殖期とし6月頃
	爬虫類	A	年3回	年2回 春・秋	年1回 秋	基本は春・夏・秋
	両生類	A	年4回	年3回	夏	基本は春・夏・秋。サンショウウオ類は卵塊確認のため3月頃(冬)が望ましい。
	魚類	B	年2回	年1回	隔年	種により河川を遡上・降海する。
	昆虫類	A	月2回	月1回	2月毎	できれば植生別昆虫相整理。目的に応じチョウ類、トンボ類、地表性昆虫類など対象を絞る。
	底生動物	A	年4回	年2回 春・夏	年1回 早春	種組成、現存量。多雪地では12月初まで。増水時避ける。
	土壌動物	B	年2回	年1回	隔年	種組成 現存量 大区分「土壌」?通年生息・季節生息種に注意。
	その他	C	年1回	2年1回	3年1回	特定種限定の場合は別途。
生活史	生物季節	C	月4回	月2回	月1回	動物出現・行動等視認 頻度は当該季節。 特定種限定の場合は別途
貴重種	RDB記載種	A	年6回	?	?	猛禽類を基準に考えると、1月頃より7・8月まで月1回。
行動	テレメトリー	B	毎月	隔月	?	多地点・多回数ほど精度は上がるが、個体捕獲、発振機脱落、個体トラブルなど問題の多いのが現状。GPS。
微生物類/						
微生物相	分解菌	C	毎年	3年	5年	細菌・放線菌・糸状菌コロニー計数 -希釈平板法
	その他菌類	C				分類学的区分、有益種(菌根菌等)・病害種、特定菌に注目して
貴重種	リスト記載種	C				
人との関わり/						---とくに里山系---
利用者	利用目的と場所	A	毎年	3年	>5年	ヒアリング、アンケート
	利用者数	A	毎年	3年	>5年	カウント調査
利用生物	種・利用量	A	毎年	3年	>5年	ヒアリング、アンケート
土地利用	農林業実態	A	毎年	3年	>5年	森林保育・農作業実態 ヒアリング等で
民俗	民俗的・歴史的	B		随時		祭、ムラ、入会・・・

表3 モニタリング観測項目とその重要度・観測頻度の整理(非生物系)

大区分/ 小区分	観測項目	重要度 A,B,C	観測頻度			note
			精	中	粗	
土壌/						
土壌構成	土壌断面	A	2年	5年	10年	とくにAo、A層
	土性・構造	A	2年	5年	10年	粒径組成、単粒・団粒
	有機物量	A	毎年	5年	10年	とくに表層土
土壌水		B	四季	2年	>5年	容水量 pF・・・
物理性		B	毎年	5年	10年	三相組成 孔隙量 透水性 硬度・・
化学性		B	毎年	5年	10年	C,N,P,K,Ca,Mg,・・・CN比
土壌呼吸		C	四季	2年	>5年	分解速度の推定
大気/						
気象	一般気象	A	通年			林内外 気温 地温 湿度 風速
	(近隣情報代替可)	B	通年	月2回	年数回	日射量 照度
大気組成	タワー観測?	B	通年	月2回	年数回	CO2、汚染ガス、塵埃、花粉、テルペン NO2、浮遊粒子状物質
音 匂い	騒音レベル	B-C	月1回	年6回	年2回	一必要に応じて
		C				一必要に応じて
水(地表・地下)/						
循環経路		C	通年			固定区 林内雨 樹幹流 蒸発散 浸透
流量		B	通年			固定区 溪流流量 地下水位
化学性		A	毎月	年6回	年2回	化学成分 pH
水質		A	毎月	年6回	年2回	BOD COD SS 透明度 電気伝導度無機イオン 大腸菌数・
地域全体像/						
地理情報GIS	収集整備	A	毎年	5年	10年	地形、土地利用、植生変化等を把握。
空中写真	収集整備	A	毎年	5年	10年	地形、土地利用、植生変化等を把握。5年毎に公的撮影。

## 2-2-2 自然環境モニタリング実施の流れ

モニタリング実施に当たっては、以下のような流れが基本となるであろう。

### ①モニタリング対象の確認

モニタリングの目的や対象地の性質等によって観測の項目・頻度の選択は違う。したがって、次のような点に留意して対象を確認しておく必要がある。

[目的別]

**一般自然環境継続調査**：観測精度は若干低くても、基本的な観測項目は一通り選定する必要あり。

**開発事後照査調査**：環境影響評価により、開発等のため影響を受けると評価された項目について重点的に。同時に、影響の背景となる基礎的データの収集、あるいはその指標となる事象の観測。

**生態系保全調査**：生物自体および生物の生息環境に重点を置いて観測項目・観測頻度の選択。

**資源・生物量調査**：調査対象目的に応じて重点的な選択。

[対象地別]

**奥山地帯**：生物の生育・生息確保を重視。

**里山地帯**：とくに人との関わり(人の利用・民俗・・)に関係する項目を重視。

**都市近郊**：都市圧に影響されやすい項目、また都市化指標となる項目を重視。

### ②モニタリング項目と観測精度の選択

上記①での確認に従い、表1～3によつて観測の項目とその精度(観測頻度)を選択することになる。その選択に当たっては、以下が目安になるが、あまり盛沢山な項目選択は、調査の永続性を阻害する懸念もあるので注意する必要があるであろう。

[要求される詳しさランクと項目・精度]

特級：観測項目;重要度 A, B, C 全項目、精度(観測頻度);精。

1 級：観測項目;重要度 A, B 項目、精度;中。

2 級：観測項目;重要度 A 項目、精度;粗。

### ③モニタリング計画の設計

選択した観測項目と観測精度を基に、観測内容と観測実施時期について、全体計画と年次計画を建てる。年間複数回の観測が必要なものについては、その月別計画も必要になる。

個々の項目について、観測方法を決定し、必要に応じてチェックシートを作成する。

### ④モニタリングの実行

計画に沿ってモニタリング観測を実施。

### ⑤モニタリング結果の整理・分析

[個々の観測終了時]

a. **生データの整理** 整理したデータは、恒久的な保存を図る必要がある。とくに重要なデータは、不時の事故に備えて、何通かのコピーを違う場所に分散して保存することが理想的である。

b. **一次整理** 平均値や分散を求めるなどのデータ整理。

c. **観測項目相互間の関係解析** 例えば項目相互間の相観や回帰を調べるなど。

[複数観測回終了時]

a. **複数回の観測結果の分析** プラス方向・マイナス方向の変化、あるいは変化無しを評価。

b. **観測項目相互間の相観解析**

## ⑥情報の発信

得られた情報は、できる限り共有化を図るべきで、必要に応じてホームページを開設して情報を公開し、また請求に応じて公開できる体制を整えておくことは、今後重要であろう。多くの場所で行われるモニタリング情報が、公的な機関で一括保存・公開される制度設立も望ましいことである。

情報発信には、観測結果や現況の経常的な情報提供のほか、異常発生時の警戒・緊急情報の発信、がある。後者の場合の対応を準備しておくことは必要である。

### 2-2-3 開発を希望する観測機器

上述のモニタリング自体の意見聴取と併行して、開発を希望する簡便・省力機器についての要望を求めた。以下のような要望・提案が寄せられたが、その一部は、この地域結集研究の中で、開発に着手された。なお、フィールド観測機器開発にあたって留意すべき点は、対象地が一般的に無電源・傾斜地であること、簡単でポータブルなものでないと実用できないことなどである。

**林内外監視カメラ**：常時監視以外に、長期観測を短時間で再現記録する装置。

**動物行動反応カメラ**：熱や動きを感知するセンサーと組み合わせて、動物がいるときだけ撮影するビデオ。夜間自動撮影装置希望。

**万能 CCD カメラ**：猛禽の巣を上から、哺乳類の巣穴を外から撮影できる自在性 CCD カメラ。

**鳥の飛翔を知らせるレーダー装置**：鳥の出現を知らせるアラーム。出現方位と距離を指示。

**望遠鏡の角度記録装置**：飛翔鳥類追跡中の望遠鏡の水平・垂直角度の連続記録装置。

**飛翔鳥群個体数カウント用ソフト**：飛翔中の鳥類の集団をビデオ撮影し、パソコン上で個体数を明らかにするソフト。

**動物体温検知装置**：哺乳類・鳥類などの発見に効果的。双眼鏡に組み込めればなお有効。

**哺乳類足跡トラップ**：通過した際に体重や歩幅から動物の大きさが記録される装置。さらには足裏からの熱を感知して足跡の形状を記録する。

**臭いで動物の種類を同定できる装置**：糞や毛などのフィールドサインから種の同定、また獣道を通った種の同定に効果的。

**コウモリの種識別機**：夜行性で RDB 記載の多いコウモリの種の識別には、声紋利用のような方法と識別装置は開発できないか。

**モグラ生息確認機**：例えば魚群探知機のような方法で、地中の生息、坑道の分布などが確認できる方途はないか。

**ネズミの種識別機**：生捕り個体の一時的保管も含めて、生体計測システム(リモコン等)。

**樹種・植生種等判別装置**：空中写真から樹種、林相、植生種等を自動的に判別する機器・装置。図化機と組み合わせられるとさらに望ましい。

**直径樹高等樹木成長の自動計測装置**：とくに樹高計測。現行の測定方法のネックは、閉鎖林で梢端を視認し難い場合が多いこと。

**立木位置や樹冠構造などの自動記録装置**：レーザー等の利用で可能ではないか。

**植物活力度判定機器**：葉の光透過・反射度などを応用して光合成活性を知る簡単な機器。

**林内照度・投下エネルギー量など自動観測記録装置**：現場向き簡便なもの

**簡易土壌呼吸量測定装置**：現場向きのできるだけ小型で取扱容易なもの。

**簡易土壌有機物含量測定装置**：現場向きの携帯用、小型、安価。少量サンプルでも測定可能。窒素含量測定可能ならばなお望ましい。

**安価・小型の現場用テータローガー：**

**自動水量観測装置：**現在の量水堰の仕様を簡易化して、小沢対応のものはないか。

**自動採水装置：**降水時毎の、降水、樹幹流、林内雨、渓流水等の分析用サンプル採取。

## 2-3 フェーズ I のまとめ

当研究テーマは、当初計画によって平成 13 年度で終了した。

研究期間中に、多数の調査回答者に第 4 次調査まで繰り返して協力を得、観測項目の抽出整理はほぼ完了した。しかし、なお見直すべき点は残されているであろうし、モニタリング調査対象によっては特殊な項目があることは言うまでもない。システム全体の構築については、問題提起の段階であって、未だ完成したとはいえ、今後、その完成を目指すべきではあるが、これもモニタリング調査対象によって特殊な問題が存在するであろう。

## 3. 成果の達成度

自然環境長期モニタリングは、今後の開発行為のみならず、環境問題対応としても重要課題となるはずで、とくに開発対象になりがちな里山地域での長期モニタリングのシステム・マニュアル化は大いに意味がある。モニタリングシステムの開発として、その観測項目や手法、すなわち、何を、何時、どのような頻度で、どんな手段で観測するのかの整理、観測新技術、観測結果の整理方法や分析(項目相互関連)手法、情報化・情報発信法のマニュアル化を進め、また検討過程で生ずる様々な観測機器等への欲求を整理する計画である。

上記が基本計画であった。その計画はほぼ完全に達成できた。

## 4. 今後の課題

今後多々生じるであろうモニタリング調査に、この研究成果の考え方が活用されることを待つ。なお、フェーズ II では、当研究調査で抽出された「開発を希望する観測機器」の開発プロジェクトが進行するはずであったが、それが実現しなかったのは遺憾である。今後、これらの機器の開発が進むことを期待したい。

## 5. 外部発表

只木良也・中川有里 自然環境モニタリング-なぜ必要か、どうすればよいのか。PREC Study Report 7 : 22-31. 2001.