

野生動物調査用センサーカメラの 機種間性能比較

安藤元一*, 椎野 綾**, 鳥海沙織***

(平成 23 年 5 月 19 日受付/平成 23 年 9 月 13 日受理)

要約: センサーカメラによる自動撮影調査は、野生動物研究に広く使われている。しかし調査によって設置方法や使用機種が異なるために、調査結果を定量的に比較することが困難である。本研究ではセンサーカメラの機種による性能差を明らかにすることを目的に、フィルムカメラ 1 機種 (FieldNote II a)、デジタルカメラ 5 機種 (FieldNote DS8000, FieldNote DS60, GAME SPY D40, Cuddeback Expert および TSC30) および単体センサー 1 機種 (TrailMaster 550) を対象とし、各機種のシャッター・タイムラグ、動物検知可能距離、種判別可能距離、検知可能画角、および電池寿命を実験的に比較した。タイムラグは 0.6 秒から 4.5 秒まで機種に大きな差があった。大型の動物を検知できる距離は 7m から 27m までの差があった。しかし検知距離が長い機種ではフラッシュ光はその距離まで届かなかった。小動物を近距離で撮影した場合、デジタルカメラはすべて被写体が白飛びして種判別が困難であったが、フィルムカメラでは 20cm まで近接しても判別できた。センサーの水平検知可能画角も機種によって 10~150° と大きな差があり、タイムラグが長いカメラほど検知画角が狭くなる傾向があった。電池寿命はいずれの機種も常温で 3 週間程度はあり、実用上問題なかった。米国の会社が発売する 3 機種は、見通しのきく森林において動きの遅い大型獣の存在を確認するための、ハンティング用調査に適した性能を有していた。国産の 3 機種は近距離の中小動物撮影に適し、汎用性の高い機種といえる。一般的な自然環境調査においては、他の調査と比較できる方法を用いることが重要である。しかしカメラ性能の差が大きくてモデルチェンジが頻繁という現状では、定量的な比較のためには機種の統一を目指すよりも、撮影面積を一定にするなどカメラの設置方法⁵⁾を工夫する方が現実的と思われる。

キーワード: センサーカメラ, シャッター・タイムラグ, 検知画角, ダイナミック・レンジ, 自動撮影

1. はじめに

赤外線による野生動物の自動撮影は1970年代から行われてきた。当初は赤外線の光束を動物が横切ることで作動するタイプが多かったため、動物の通り道に設置せねばならず、設置時の光軸調整にも手間がかかるため、動物写真家などが使うにとどまっていた。しかし近年は焦電型熱赤外線センサーを用いたタイプが主流となっている¹⁾。このセンサーは微分型素子であり、センサー素子受光面で受ける熱赤外線量の変化に応じた出力を行う。このため検出できるのは温血動物であって、しかも画面内を動いている個体に限られる。このタイプのセンサーの登場によってセンサーとカメラの一体化が可能になり、投光距離による撮影範囲の制約もなくなり、さらに機材価格も大幅に低下して

きたので、多数のカメラを同時に設置することが可能になった。自動撮影調査には現地訪問回数を減らせること、捕獲許可が不要であること、証拠写真が残せることなど多くのメリットがある。このため研究目的にとどまらず、獣害対策における害獣監視用など実用分野にも広く用いられるようになっていく。米国ではこうしたカメラは一般にトレイルカメラと呼ばれ、スポーツハンティングにおいて、対象動物の存在を事前確認する目的で広く使われている。販売されている機種も多い。

しかし自動撮影の結果は多くの要因に影響される。設置場所の選択が撮影率に大きく影響するのはもちろん、カメラの設置地上高や俯角によっても撮影結果は異なってくる。撮影期間や使用台数による結果信頼性の違いもある²⁾。こうした設置技術や解析技術に関しては国内外で多くの

* 東京農業大学農学部バイオセラピー学科

** 城南福祉医療協会

*** 前東京農業大学農学部バイオセラピー学科

表1. 各カメラ、センサーの仕様

機種	サイズ(ケース 込, cm)	重量(電池・ ケース込, g)	電源	画角(35mm カメラ換算)	インターバル	画素数	その他
1) FNⅡa	7.5×13.5×9.5	390	単4×2	28mm	2分	フィルム依存	
2) FNDS8000	12×15×8	620	CR123A×2	28mm	約7秒	1,200万	
3) FNDS60	11.5×15×8	550	CR123A×2	28mm	約7秒	1,000万	
4) GAMESPY	7.5×18.5×25.5	1,820	単1×6	記載無し	1-60分から4段階	400万	
5) Expert	20×12×8	1,160	単1×4	記載無し	1分	300万	
6) TSC30	5×14×16	450	専用充電電池	記載無し	10～990秒の間	300万	赤外線LED
7) TrailMaster550	10×8.5×12.5	600	単2×4	該当せず	0.5秒～98分の間	該当せず	センサー単体

研究がなされている^{3) 4) 5) 6) 7)}.

自動撮影結果に影響するもう一つの要因は機種による性能差である。近年は多種のデジタル式センサーカメラが市販されている。しかし、これら機種の中にはレンズ性能、シャッター・タイムラグ、検知可能な距離、フラッシュの到達距離など撮影結果に影響する諸元を公表していない機種が多い。公表されている場合でも、測定条件が統一されているわけではない。このために異なる機種を用いた調査結果を定量的に比較することは困難である。しかし設置技術や解析技術に関して多くの研究がなされているのに対し、カメラの性能そのものを比較した研究は限られている⁸⁾。獣害対策や自然環境調査におけるセンサーカメラの利用者も、機種の性能を考慮せずに、あるいは性能を知る方法がないままにカメラを購入している例が多い。

本研究の目的は、センサーカメラの機種による性能差が野外調査結果に無視できないレベルで影響するか、実験的に明らかにすることである。またカタログ性能が優れていても、大きすぎて運べる台数が限られている、現場での取り付けに時間を要する、設定ボタンが小さすぎるなど、野外における使い勝手の悪い機種は実用に適さない。このため上記のような実用性についても比較した。

2. 調査対象機種

センサーをカメラに内蔵した機種の中から、次の6機種を対象とした(表1, 図1)。フィルム式カメラからは①麻里府商事製 FieldNoteⅡa (以下 FNⅡa) を選んだ。この機種は既に製造中止されているが、これまで国内調査で多用されてきた機種であるため、比較対象とした。デジタルカメラとしては②麻里府商事製 FieldNote DS8000 (以下 FNDS8000)、③麻里府商事製 FieldNote DS60 (以下 FNDS60)、④MOULTRIE 社製 GAME SPY D40 (以下 GAMESPY)、⑤Cuddeback 製 Expert、⑥LandView 社製 TSC30)の6機種各2台を用いた。①、②および③は国産のコンパクトカメラを改造した機種である。④、⑤、⑥は米国の会社から発売されている機種である。④と⑤のフラ

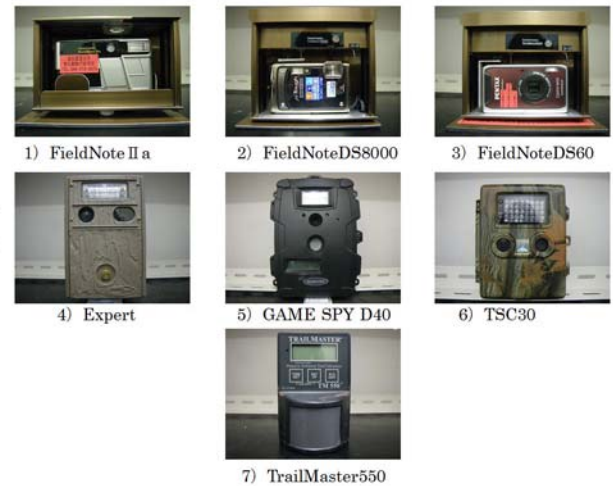


図1. 調査対象機種

ッシュは可視光を発光するが、⑥は赤外光を発する。これらのセンサーとカメラが一体化したタイプに加え、単体型センサーである⑦TrailMaster 社製 TrailMaster 550 (以下 TrailMaster) も調査対象とした。

3. 方法

次の5項目における機種間の差を実験条件下で比較するとともに、野外で使用する際の利便性を比較した。

(1) シャッター・タイムラグ

動物を検知してからシャッターが作動するまでのタイムラグは自動撮影ではきわめて重要である。このためセンサーの前方10cmの位置で手を振り動かしてカメラを作動させ、そこから実際にカメラのフラッシュが発光するまでの時間をストップウォッチで手動計時した。計時は各機種につき100回試みた。タイムラグにはカメラ個体毎の差がある可能性もあるため、FNⅡaについては6台のカメラを使用し、カメラ毎の個体差を調べた。測定にあたり、センサーの感度不足が動作の遅延につながらないように、感度設定が可能な機種については高感度側を選んだ。TrailMasterはワインダー付き機械式一眼レフ OLYMPUS OM-1 に接

続いて測定した。本機は検知画角が広いので、手の動きだけを検知するようにセンサー窓の一部をガムテープで覆って検知画角が45°になるよう事前に調節した。

(2) 検知角度

センサーの検知範囲がレンズ画角より広すぎると、画角外の動物にも反応して無効撮影が多くなり、検知範囲が狭すぎても、レンズ画角を有効に生かせない。このため各カメラのセンサーが反応する検知可能角度を求めた。カメラ正面を0°として、水平方向と垂直方向において何度までシャッターが作動するか検証した。水平方向の検知範囲を調べるために、身長約150cmのヒトが余裕を持って画面内に収まるようにカメラから3mの地点に立ち、水平角度を左右方向に5-10度ずつ変化させて、それぞれの位置でしゃがんだり立ったりするスクワット動作を10-20回繰り返し、動作のセンサーに検知された割合を記録した。垂直方向の検知角度については、カメラを横位置に置くと高い場所の測定が不便になるので、90°回転させて縦位置に置き、同様に実験した。TrailMasterについては、本来の検知角度を測定するため、センサー窓を覆わず実験した。この実験は気温約24℃、光量約450Luxの室内で行った。

(3) 検知距離

センサーが動物を検知できる最大距離を、対象動物を小型動物（マウス大）、中型動物（タヌキ大）、大型動物（ヒト大）に分けて測定した。

i) 小型動物

実験用マウスを幅30cm、奥行3cmの細長い板上に載せ、センサーカメラのレンズ軸をその板と同じ高さを60cmの高さで固定した（図2）。板とセンサーとの距離を0.2～4mの範囲で変化させ、各距離でマウスが板上を頭胴長（約7cm）以上動いたときに、センサーが作動するかどうか各距離について50回以上、室温環境下で測定した。

ii) 中型動物

中型動物の代用物として、Swannら⁷⁾の実験を参考にして、容量35リットルのポリバケツに38℃の温水約25リットルを入れ、台車に乗せた。そしてカメラ光軸を横切るように台車を3m動かしたときにセンサーが作動するかどうかを調べた。カメラと台車との距離を0.5-1mずつ2-13mの範囲で変化させ、各距離について10回以上測定した。この実験は約24℃、約450Luxの室内で行った。

iii) 大型動物

身長約150cmのヒトが1.4m/秒の速さでセンサーの前を一方方向に歩き過ぎたとき、センサーが作動するか調べた。カメラを地上から高さ1mの位置に設置し、カメラと人との距離を5-31mの範囲で1mずつ変化させ、各距離につき10

回以上測定した。この試験は外気温20℃以下の屋外で夜間に行った。

(4) 画質（ダイナミックレンジ・色調・解像度）

デジタルカメラ素子のダイナミックレンジはフィルムより狭いので、フラッシュが近距離で強すぎれば、画像が「白とび」して動物種を判別できない。他方、フラッシュ光量が不足すれば動物を判別できない「黒つぶれ」現象が



図2. 小型動物（マウス）を近距離で撮影したときの画像

生じる。このため得られた画像から種判別が可能かどうか、今回の比較実験に用いた6機種について、さまざまな距離で得られた写真を調べた。フィルムカメラであるFN II aについては、ISO400と800のネガフィルム（フジカラーSUPERIA）のそれぞれについて調べた。実験は自然光の影響の強い明るい室内と、フラッシュ光に依存する暗い室内の両条件で実施した。小型動物の実験では、(3)の実験で得られた画像に加えて、更に近接した距離0.2mの実験を追加し、モニター上の画像から、体色が判別できるか、耳や目などの器官を判別して属レベル程度までの同定が可能か調べた。中型動物の実験では色がどの程度識別できるか調べるため、バケツ表面に30cm角の色紙（明所撮影では黒・緑・茶の3色、暗所撮影では黒とカーキ色の2色）を貼り付けた。大型動物の実験では、解像度については種判別が可能であるか、画像をプリントして、目視で判断した。

(5) 電池寿命

センサーカメラの電池寿命を測定した。東京農業大学厚木キャンパス内（神奈川県厚木市、標高80m）および神奈川県立七沢森林公園内（神奈川県厚木市、標高140m）において、各機種を10～1月に野外に置き、その間に2.5日に1枚の割合で強制発光モードで撮影した。各カメラに新品乾電池（単1および単2電池はASKUL製、単4電池はPanasonic製オキシライドあるいはEVOLTA、CR123AはFujitsu製）あるいは満充電した新品専用充電電池を入れ、電池が尽きるまでの日数を調べた。

表2 水平方向の被写体検知率(%)

水平方向	左方向									右方向								
	80°	70°	40°	30°	20°	15°	10°	5°	0°	5°	10°	15°	20°	30°	40°	70°	80°	
1) FN II a			0	100	100	—	—	—		—	—	—	100	100	0			
2) FNDS8000			0	100	100	100	100	100		100	100	100	100	100	0			
3) FNDS60		0	100	100	100	100	100	100		100	100	100	100	100	0			
4) GAMESPY							0	100		100	0							
5) Expert							0	100		—	100	0	0					
6) TSC30					0	15	100	—		—	100	0	0					
7) TrailMaster550	0	100	—	100	—	100	—	100		—	100	—	100	100	100	25	100	

数字は10-20回試行した時の検知率。「—」は実験せず。

数字は10-20回試行した時の検知率。「—」は実験せず。

表3 垂直方向の被写体検知率(%)

垂直方向	上方向								下方向							
	45°	40°	30°	20°	15°	10°	5°	0°	5°	10°	15°	20°	30°	40°	45°	
1) FN II a		0	100	100	—	100	100		100	100	—	100	100	0		
2) FNDS8000	0	40	100	100	100	100	100		100	100	100	100	0			
3) FNDS60			0	100	100	100	100		100	100	100	100	100	10	0	
4) GAMESPY						0	100		100	0						
5) Expert						0	100		75	0						
6) TSC30					0	5	100		100	10	0					
7) TrailMaster550						0	100		0							

数字は10-20回試行した時の検知率。「—」は実験せず。

(6) カメラの取り扱い利便性

センサーカメラは野外で用いる機材なので、カタログ性能が優秀であっても、取り扱いが面倒であれば実用には適さない。そこで(5)の実験に際しては作業者が1回に運搬できる台数、現場におけるカメラ固定作業の容易さ、設定用ボタンの操作性、および電池やメディアを交換するときの利便性について、特記すべき問題点があれば記録した。

3. 結 果

(1) シャッター・タイムラグ

実験に用いたセンサーカメラ各機種のタイムラグの平均値は、FN II a 約 0.6 秒、FNDS8000 約 2.5 秒、FNDS60 約 3.7 秒、GAMESPY 約 1.7 秒、Expert 約 1.2 秒、TSC30 約 4.5 秒、TrailMaster十一眼レフ約 1.4 秒であり、機種によって7倍以上の差があった(図3)。フィルムタイプのFNIIaは他のいずれの機種と比較しても有意にタイムラグが短かった(t検定, $P<0.01$)。FNDS8000とFNDS60はほぼ同一時期に同一メーカーから発売された機種であるが、タイムラグは後者の方が有意に長かった(t検定, $P<0.01$)。この2機種では、(3)-iii)の実験において被写体が動きを止めてからシャッターが作動する例がどの距離でもみられた。

Expertのタイムラグは、デジタルカメラの中ではもっとも短い約1.2秒であった。GAMESPYのタイムラグはデジタルカメラの中では比較的短く、(3)-iii)の実験において被写体が10m以上離れていたときには、タイムラグに起

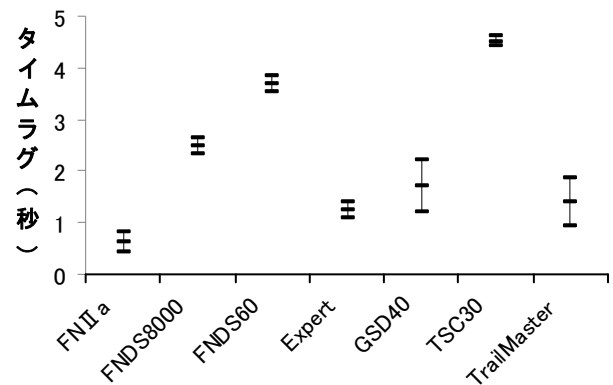


図3. センサーカメラの機種別タイムラグ (バーはS.D.)

因する無効撮影はほとんどなかった。しかしこの機種は2台ともに性能が安定せず、センサーから約10cmの距離で手をかざしても反応しないことが度々あり、動作不良と思われた。

TSC30はタイムラグが最も長く、(3)-iii)の実験においては被写体がフレームアウトしてからシャッターが作動した無効撮影が53回中17回あった。この現象は被写体がカメラに5mほどの近距離で顕著であった。TrailMasterは感度(P値)と作動遅延時間(Pt値)を任意に設定できるが、最も高い感度設定であるP値1に設定したときにはタイムラグが平均0.39秒と短くなった。P値3, Pt値3.5に設定した場合(中型以下の動物への推奨設定)のタイムラグは約1.4秒となり、P値5, Pt値2.5(大型動物の推奨設定)では20回手をかざしても反応しなかった。

表4 小型動物サイズに対する距離別検知率(%)

距離(m)	0.5	1	1.5	1.8	2	2.5	3	3.5	4
1) FN II a	100	5	0						
2) FNDS8000	100	13	0						
3) FNDS60	100	19	0						
4) GAMESPY	100	35	0						
5) Expert	70	27	30	2	0				
6) TSC30	85	72	-	-	36	-	2	16	0
7) TrailMaster550	-	100	-	-	51	6	0		

実験回数は各カメラ、各距離につき50回以上。

表5 中型動物サイズに対する距離別検知率(%)

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	100	100	5	0								
	100	100	10	25	0							
	100	20	0									
	100	100	90	70	70	0						
	100	100	90	70	40	20	30	0				
	100	100	100	100	100	100	100	100	90	80	80	0
	100	100	100	55	75	45	25	20	0			

実験回数は各カメラ、各距離につき10-20回。

表6 大型動物サイズに対する距離別検知率(%)

距離(m)	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	25	27	29	30	32	35
1) FN II a	100	100	100	60	80	20	0															
2) FNDS8000	100	100	100	80	0																	
3) FNDS60	100	100	80	10	0																	
4) GAMESPY	80	70	70	70	60	0																
5) Expert	-	-	-	-	-	100	100	60	20	60	10	50	60	60	0	0						
6) TSC30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	100	100	40	35	20	0
7) TrailMaster550	100	-	100	95	50	50	0	-	-	-	0	-	-	-	-	0						

実験回数は各カメラ、各距離につき10-20回。

(2) 検知角度

検知角度についても機種による大きな差が見られた。検知率が100%に達した角度を検知角度と見なしたところ、FieldNote シリーズのII a, DS8000 および DS60 はいずれも水平・垂直両方向ともに 50° 以上の広い検知角を有していた(表2,3)。これに対し Expert, GAMESPY および TSC30 はいずれも検知角の狭いことが特徴であり、Expert は水平・垂直ともに検知角が 10° であり、調査機種の中では最も狭かった。GAMESPY と TSC30 は垂直方向よりも水平方向に広い検知角を示した。特に TrailMaster はこの傾向が強く、水平方向には 120° の広い範囲を検知したが、下方向に全く検知せず、上方向は 5° にすぎなかった。

(3) 検知距離

i) 小型動物 (表4)

FieldNote シリーズのII a, DS8000, DS60 および Expert はいずれも 0.5m より近い距離では 100%検知したが、1.5m まで離れると検知できなかった。GAMESPY は 1.5m でもときにマウスの動きを検知したが、最近接の 0.5m においても検知率は 70%にとどまった。TSC30 は概ね 3m 以上の距離を検知できず、近距離の 0.5m においても 100%検知することはなかった。GAMESPY と TSC30 の検知率が最近距離でも 100%に達しない理由として、これら機種の検知角が狭いために、画角内に小型動物が存在してもセンサーで捕捉できなかった可能性がある。TrailMaster は 1m 地点で 100%検知し、検知率は低いが 2.5m 地点まで反応した。このようにいずれの機種も 0.5m までの近距離では高

い検知率を示したが、1m 地点の検知率は機種による差が大きく、1.5m 以降ではどの機種も検知率が低下した。

ii) 中型動物 (表5)

全機種が1~2mの距離にある被写体を100%検知したが、90%以上検知可能な距離は、機種によって2~10mと差が大きかった。FN II aとFNDS8000は距離4m以上で、検知率が急減する傾向にあった。FNDS60は検知可能距離が2mと最も短かった。Expert と GAMESPY は、4m地点で90%検知した。TSC30の検知率は12m地点でも80%に達した。TrailMasterの検知率は5m以遠において段階的に低下した。

iii) 大型動物 (表6)

検知率が100%に達する距離は機種によって異なった。FieldNoteシリーズのFN II a, DS8000およびDS60が安定して検知できるのは距離6-7mまでであった。GAMESPYの性能は不安定であり、5mの距離でも検知率は100%にならなかった。Expertは18mの距離で60%の検知率であったが、安定して検知できるのは11mまでであった。TSC30は距離27mにおいても100%の検知率を示した。TrailMasterは7-8m地点まで安定して検知した。なお、大型サイズの実験は野外で行ったので、室内で行った小・中型サイズの実験と比べて背景温度などの測定条件は異なっている。

以上のようにFieldNoteシリーズおよびTrailMasterはどの対象動物の大きさでも、近距離ならば検知率は安定して高かった。ExpertとGAMESPYは小型サイズの撮影には不適當であったが、中型以上の被写体は安定して検知した。

表7 小型動物サイズ判別可能距離

距離(m)	0.2	0.5	1	1.5	1.8	2	2.5	3	3.5	4
FN II a	●	●	●							
FNDS8000	●	●	●							
FN DS60	●	●	●							
Expert	-	○	○							
GAMESPY	-	○	○	○	○					
TSC30	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○

表8 中型動物サイズ判別可能距離

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
FN II a	●	●	●	●									
FNDS8000	●	●	●	●	●								
FN DS60	●	●	●										
Expert	○	●	●	●	●	●							
GAMESPY	○	●	●	●	●	●	●	●					
TSC30	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

表9 大型動物サイズ判別可能距離

距離(m)	4.5	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	25	27	29	30	32
FN II a	●	●	●	●	●	●	●															
FNDS8000	-	●	●	●																		
FN DS60	-	●	●	●																		
Expert	-	●	●	●	●	●																
GAMESPY	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○							
TSC30	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○

●, 明所・暗所両環境課で判別可能; ○, 明所のみで判別可能

TSC30 は小型サイズの検知には適していなかったが, 30m 近い遠距離でも検知できるのが特徴であった。機種間の差は検知率の変化割合にもが見られた。DS8000 や DS60 は, 100%検知できる距離から 2m ほど遠ざかるだけで, 検知率が大きく低下した。これに対し Expert や GAMESPY の検知率は, 距離が伸びると段階的に低下する傾向を示した。

(4) 画質 (ダイナミックレンジ・色調・解像度)

i) 小型動物 (表 7)

FN II a ではフィルム感度 (ISO400 および 800) にかかわらず, FNDS8000 および FNDS60 は明所,暗所のいずれにおいても距離にかかわらずマウスとわかる程度に判別できた。FNDS8000 および FNDS60 も同様であった。Expert は明所では 1m 地点において形がわかる程度に写った。しかし暗所 0.5m の地点では写真が合焦していなかっただけでなく, 白とびによって判別不能であった (図 4)。GAMESPY は明所では 1.8m より近い場所では白飛びした。暗所では距離にかかわらず画面全体がフラッシュの乱反射のために白くなり, 判別できなかった。TSC30 は明所では 3.5m より近い場所では白飛びし, 暗所ではフラッシュが強すぎてどの距離でも写真の中心付近が白く不鮮明であったために, 判別困難だった。

ii) 中型動物 (表 8)

FN II a (ISO400 および 800), FNDS8000 および FNDS60 は明所,暗所にかかわらず, いずれの検知距離においても色や形を識別できた。Expert と GAMESPY は明所では検知したどの距離でも色の識別が可能だった。暗所では 2m 以上で色や形を識別できたが, フラッシュのために 1m 地点では全体が白味がかり, 色を識別できなかった。TSC30 は明所ではどの距離でも黒色を識別できたが, 他のは色は識

別できなかった。この機種は暗所では赤外線発光するので, 写真はモノトーンになり, 色の識別はできなかった。また暗所では 2~12m の被写体の形を識別できたが, 1m 地点ではフラッシュが強すぎて全体が白っぽくなり, 対象物の形状識別が困難であった (図 4)。

iii) 大型動物 (表 9)

日中の屋外実験ではいずれの機種も距離にかかわらず色や形を判別できた。FN II a の夜間撮影で ISO800 のフィルムを用いた場合は 10m まで, ISO400 のフィルムでは 9m までカーキ色の識別が可能だった。FNDS8000, FNDS60 の夜間撮影では距離 5m までは黒色を, 7m まではカーキ色を識別が可能だった。Expert では 9m 地点まで黒色を識別できた。GAMESPY では 6m まで黒色を, 15m までカーキ色を識別できた。この機種のセンサーは 16-18m 離れた被写体をも検知できたが, フラッシュの光量不足のために画面上では認識できなかった。TSC30 では赤外線フラッシュ使用時に黒色色紙は 12m まで, カーキ色は 20m まで形状を識別できた。被写界内にある黄色や紺色の物体は, もっと短距離で識別できなくなった。この機種のセンサーは 27m 離れた被写体をも検知できたが, フラッシュの光量不足のために遠距離の物体を画面上では認識できなかった。

iv) 野外撮影

フィルムカメラの FN II a とデジタルカメラの FNDS8000 および FNDS60 について, 方法(5)で野外撮影された画像を L 版にプリントして比較したが, 適正露出のコマでは肉眼ですぐわかるほどの機種間の画質差はなかった。他方, 画素数の少ない Expert, TSC30, および GAMESPY の画像は一見して前 3 者より粗く, 諧調にも乏しかった。

Expert で夜間撮影された写真は全て全体的に赤みがかり



図 4. 野外における夜間撮影画像例

っていた。また夜間に近距離で撮影された写真は、白とび現象がおこり毛色の判別ができなかった。GAMESPY の昼間に撮られた写真には、動物が自然に近い毛色で写っていた。夜間でも動物の毛色がわかる程度に撮影された。TSC30 は夜間撮影では白黒写真のため、中型動物においても動物種の判別に困る画像が多かった。赤外線フラッシュが地面に反射して画面中央が真っ白な写真もあった。

(5) 電池寿命

平均気温およそ 5-8℃の屋外に各機種を設置して、電池寿命が尽きるまでの日数を調べたところ、FNIIa は 48-49 日 (n=2), FNDS8000 は 35 日 (n=1), FNDS60 は 33 日 (n=1), GAMESPY は 43 日 (n=1), TSC30 は 26-27 日 (n=2) であった。Expert (n=2) とセンサー単体の TrailMaster (n=2) は、45 日目に調査を打ち切った時点でも作動していた。FNDS8000 と DS60 はカメラ本体内の専用充電電池とセンサー付きケース用のリチウム乾電池 (CR123A) の両電源を用いるが、FNDS8000 ではケース用の電源が先に消耗し、FNDS60 ではカメラ本体の電源が消耗した。専用充電電池を用いる TSC30 を除けば、各機種とも概ね 1 ヶ月以上の電池寿命を有していた。

(6) 取り扱い利便性

サイズおよび重量についてみると、FieldNote シリーズ

の 3 機種は小型軽量なので、設置作業時に 1 人が十数台をまとめて運ぶことができた。Expert と GAMESPY はカメラが大きく、1 台の重量が 1kg 以上あるので、徒歩で山中に設置するときには 1 回に数台しか運べなかった。また後 2 機種は単一電池を 4-6 本用いるので、電池交換のための見回る時にも多量の電池を運ぶ不便があった。

設置の容易さについてみると、フィルムタイプの FNIIa は最も小型で設置も容易であった。ベルトで太い樹幹に固定する方法の他に、自由雲台付クリップで様々な場所に固定できるので、設置場所を選ばなかった。クリップを用いることは、カメラ方向を微調整するうえでも便利であった。FNDS8000 と FNDS60 のケースは FNIIa と比較して大きいですが、クリップによる固定は可能だった。この 2 機種はケース側のソレノイド (電磁シリンダー) でカメラ側スイッチを作動させる構造なので、電池交換時に慎重にカメラをケースに固定せねばならなかった。Expert と GAMESPY は重量があるので、ベルトで固定するために太く垂直な幹が必要であった。このため設置角度の微調整に時間を要し、大きな俯角で設置するのは特に困難だった。TSC30 もベルト取り付け位置の影響でカメラの方向調節が難しかった。カメラの方向微調整には TSC30 は位置決め用のレーザービームを発するが、野外では活用できなかった。TrailMaster はセンサー部分の設置自体は容易であったが、センサー検知角が広いために、センサーの検知エリアとカメラ画角を一致させるためには、何度もテスト撮影を繰り返す必要があった。設置現場の野外作業においては、総合的に比較して各種設定の表示が見やすく、設定ボタンの少ない機種が使いやすかった。

4. 考 察

(1) 機種間の性能差

比較したセンサーカメラ 6 機種のうち、国産の FieldNote シリーズ 3 機種と米国の会社が販売する 3 機種 (Expert, GAMESPY, TSC30) の性能には大きな差があった。国産 3 機種に共通した特徴は、検知距離が比較的短く、検知角度の広いことである。これらの特徴は、見通しの悪い林内において、中小哺乳類を中心とした調査するのに適している。他方、米国の 3 機種に共通する特徴は、検知距離が長い反面、検知角の狭いことであった。シャッター・タイムラグの長い機種もあった。こうした性能上の特徴は米国の 3 機種がスポーツハンティングにおける対象動物の事前確認用であることを反映している。下草の少ない針葉樹林において遠方をゆっくり歩くシカなどの大型獣の撮影を目的としているならば、検知距離の長いことは有利であ

るし、広い検知画角は不要である。シャッター・タイムラグの長さも大きな問題ではない。こうした大型獣は昼間にも検知可能なので、フラッシュ光が届く距離以上の最大検知距離を持つことにも意味がある。画質についてみると、国産の3機種は米国の3機種よりも精細かつ近距離撮影における白飛びや遠距離撮影における黒つぶれが少ない画像であった。このことは小動物の撮影に有利である。TSC30のように赤外線フラッシュを採用した機種もあるが、野生動物は可視光のフラッシュを浴びても逃走することはないので、人間に気付かれにくいという点以外のメリットはなく、夜間に鮮明な画像を得難いことは研究用としてデメリットである。

センサー分離型のセンサーカメラは、最初の設置と調整に時間を要する点で、一般的な撮影には適さない。用途は動物写真家や特定の研究目的に限られるだろう。分離型において TrailMaster のように検知画角の広いセンサーを用いると、撮影画角外の動物まで検知する可能性があるのですが、分離型センサーには検知角の狭いタイプが望ましい。

小型軽量であることは実用上重要な性能であった。長期モニタリングにおいては最初の設置に時間がかかっても大型電池を用いた機種が有利かもしれない。しかしわが国の自然環境調査においては、短期間に何台ものカメラを設置する調査が多く、こうした場合は小型機種が便利である。

カメラの仕様書に記載された性能と今回の実測値とを比較すると、FNIIaについてセンサー検知可能距離が4.5mであったのに対し実測値は7m、フラッシュ撮影可能距離は4.8m→4m、検知画角は100°→60°であった。GAMESPYについてはセンサー検知距離が9m→11m、フラッシュ撮影可能距離が14m→6m、検知画角が22°→20°、電池寿命が60日→43日であった。TrailMasterではセンサー検知可能距離が20m→7m、検知画角150°→120°であった。仕様書記載の性能については測定法が記載されていないため、今回の実験結果と直接には比較できないが、実測数値が半分以下にしかない項目があることに留意する必要がある。

センサーカメラの価格は低下しつつあるが、性能を犠牲にしている側面もある。FNDS60はFNDS8000と同年に廉価版として発売された機種である。センサー素子は同一のようであるが、タイムラグをはじめとする性能は廉価版の方が劣っていた。GAMESPYは米国でUS 100\$程度で販売されている低廉な機種であり、原因不明の無動作や検知率のばらつきが目立った。今回の屋内・屋外の実験を通じて、背景温度と動物体温との温度差が検知率に影響している可能性が示唆された。今後はこうした性能差も確認する必要がある。

(2) シャッター・タイムラグ

デジタル式センサーカメラのシャッター・タイムラグは、フィルム式カメラより長く、今後改善の余地がある。例えばレンズの水平画角65.5度(35mmカメラの28mmレンズ相当)のカメラ前方5mにおいて、動物が画面(横方向6.5m)を端から端まで時速4kmで歩き渡ったときに、横断に要する時間は5.9秒である。前方2mであればこの時間は2.4秒になる。今回の実験では実用上フィルムカメラとかわらぬタイムラグの機種もあったが、一部の機種では2.5秒以上のタイムラグがあった。後者のような機種ではこうした動物を写し損ねる可能性がある。タイムラグの影響は、小動物を近距離で撮影するような場合には、いっそう考慮しなければならない。

センサーカメラ調査における問題の一つに無効撮影がある。秋吉台のけもの道で行われた動物相調査⁹⁾では、総撮影枚数の3割弱が無効撮影であった。放牧地における哺乳類調査⁴⁾では、無効撮影枚数が有効枚数の3.3倍に達し、無効撮影の77%が原因不明であった。岐阜県の哺乳類調査¹⁰⁾では、約4割が無効撮影で、うち1/4が原因不明であった。焦電型センサーでは高い地温、太陽の写り込み、草葉のゆれなどは無効撮影につながる。これらの問題を解決するために、単眼のフレネルレンズを用いて検知画角を狭く調節し、無効撮影がほとんどなくなった例が紹介されている¹⁾。しかしタイムラグによって動物を捕らえ損なった無効撮影もこの中に含まれると思われるが、その割合はまだ不明である。

(3) 対象動物

大型動物の撮影については、検知距離の機種間差が大きく、30m近い距離を検出する機種もあった。これは昼間も活動する大型種を対象とするときには、撮影率の違いとなる可能性がある。しかしフラッシュ光の届く範囲がいずれの機種も限られていることから、夜行性動物については大きな機種間差にはならないと考えられる。中型動物の撮影はどの機種でも可能であり、画質にも大きな問題はなかった。しかし2-10mの距離では機種による検出率の差が見られた。小型動物を対象とする自動撮影調査では機種間の性能差が顕著であった。センサー素子がレンズから離れすぎているための視差による不検出、タイムラグによる不検出、被写体が近すぎるための「白飛び」など、改善すべき事項の多い対象動物である。小型動物はこれまでセンサーカメラ調査の対象とされておらず、今後の技術開発が必要である。

(4) 調査方法

フィルム式センサーカメラにおいては、撮影枚数の制約

から2-3週間に1回程度、カメラをケースから取り出してフィルム交換することが必要であった。しかしデジタルカメラのメディア容量が増えたことによって、撮影枚数の制約は実質的になくなり、見回り間隔を制限するのは電池寿命だけである。更に、デジタルカメラは湿気を原因とする故障を起こしやすいので、現場でのメディアや電池の交換を避けるよう勧めているメーカーもある。この点でも頻繁な交換は望ましくない。デジタル式センサーカメラでは、必要以上に頻繁な見回りは避けるべきである。

環境省のモニタリングサイト1000プロジェクトにおける里地里山調査のように、センサーカメラは超長期モニタリングにも用いられている。しかしデジタルカメラの性能向上は日進月歩であり、ときには半年程度で新型に切り替わることも多い。このため同一機種を長期にわたって継続購入するのは困難という問題がある。

以上、センサーカメラにはシャッター・タイムラグ、検知距離、検知角度、画質、利便性に大きな機種間差があり、中小動物調査には国産の機種が、大型動物を低廉な費用で調査するには米国の機種が適していることが知られた。特定の種を対象にした研究では、目的に応じて最高の検出率を得るカメラ機種や設置方法を選ぶことができる。しかし一般的な自然環境調査においては、他の調査結果と比較できる方法を用いることがより重要である。カメラ性能の差が大きいという現状から見ると、定量的な比較のためには機種の統一を目指すよりも、カメラの設置方法を⁵⁾を工夫する方が現実的であろう。例えばいずれの機種も2-5m程度の距離における撮影は問題なく行えることから、カメラの設置場所選択に基準を設け、カメラが撮影する土地面積が一定になるようにカメラの向きを調整するなどの方法が考えられる。

謝辞

東京農業大学野生動物学研究室の小川 博教授には研究期間を通じて励ましと助言をいただいた。また同研究室所属の鈴木一聡、藤本竜輔、佐戸鈴之助、田中麻美の各氏にはセンサーカメラ調査に協力いただいた。心より御礼申し上げる。

引用文献

- 1) 平川浩文. (2003) 自動撮影が切り開く新しい哺乳類研究のアプローチ. 森林総合研究所北海道支所 研究レポート, (69):1-8.
- 2) 平川浩文. (2004) 自動撮影装置を用いたイベントリ調査手法の確立. 生物多様性調査種の多様性調査(北海道)報告書. pp 47-69. 環境省自然保護局生物多様性

センター. 山梨.

- 3) YASUDA, M. (2004) Monitoring diversity and abundance of mammals with camera traps: a case study on Mount Tsukuba, central Japan. *Mammal Study*, **29**:37-46.
- 4) 塚田英晴・深澤 充・小迫孝実・須藤まどか・井村 毅・平川浩文. (2006) 放牧地の哺乳類調査への自動撮影装置の応用. *哺乳類科学*, **46**:5-19.
- 5) 金子弥生・塚田英晴・奥村忠誠・藤井 猛・佐々木 浩・村上隆広. (2009) 食肉目のフィールドサイン, 自動撮影技術と解析—分布調査を例にして. *哺乳類科学*, **49**:65-88.
- 6) 平川浩文・車田利夫・坂田大輔・浦口宏二. (2010) 北海道に生息する在来種のクロテンと外来種のニホンテンは写真で識別可能か. *哺乳類科学*, **50**:145-156.
- 7) 小金澤正昭. (2004) 赤外線センサーカメラを用いた中大型哺乳類の個体数推定. *哺乳類科学*, **44**:107-111.
- 8) SWANN, D. E., C. C. HASS, D. C. DALTON and S. A. WOLF (2004) Infrared-triggered cameras for detecting wildlife: an evaluation and review. *Wildlife Society Bulletin*, **32**:357-365.
- 9) 江口圭介・松村澄子. (2006) 秋吉台の「けもの道」における自動撮影カメラを使った動物相及び活動性調査. 秋吉台科学博物館報告 **42**:51-64.
- 10) 説田健一. (2004) 赤外線センサーカメラで撮影された関市岐阜県百年公園の哺乳類. 岐阜県博物館調査

Performance comparison among trail cameras for wildlife survey

By

Motokazu ANDO^{*}, Aya SHIINO^{**}, Saori TORIUMI^{***}

(Received May 19, 2011/Accepted September 13, 2011)

Summary: Trail camera photography has become a common practice in wildlife field studies. Quantitative comparison of different survey results, however, remains difficult partly because different cameras are used in different studies. This study aims at clarifying performances of film- and digital- sensor cameras under experimental conditions. Seven camera types were tested: a film camera (FieldNote IIa), five digital cameras (FieldNoteDS8000, FieldNoteDS60, Cuddeback Expert, GAMESPYD40, TSC30) and a separate-type sensor (TrailMaster550). Time lags from sensing to triggering varied from 0.6 sec. of FNIIa to 4.5 of TSC30. Detectable distances were from 7 m of FNIIa to 27 m of TSC30. Identifiable distance of TSC30, however, was no more than 12 m due to the lack of speedlight power. Horizontal detectable angles also varied from 10° of Expert to 150° of TrailMaster. When shooting close up photos of small-size animals, images of digital cameras tended to be overexposed and not to allow species identification. This was not the case in the film camera that allowed identifiable close up shot as near as 20 cm. Battery satisfactorily lasted for more than three weeks in all cameras. Cameras distributed by US companies generally had longer detectable distances, narrow detectable angles and longer triggering time that were suitable in detecting big game in woodlands of good visibility. Cameras made in Japan had more compact size, shorter detectable distances and wider detectable angles and broader dynamic ranges. These were desirable performances for use in rural thickets in Japan. For comparing different survey results, it seemed more practical to standardize rules of camera installation rather than unifying camera performances.

Key Words : trail camera, shutter time lag, field angle, dynamic range, sensor photography

^{*} Department of Human and Animal-Plant Relationships, Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture

^{**} Jonan Welfare and Medical Service Association

^{***} Formerly, Department of Human and Animal-Plant Relationships, Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture