

知床キムンカムイプロジェクト： GPS テレメトリー調査最終報告

小平真佐夫・葛西真輔・増田泰・山中正実・中西将尚・岡田秀明
(財団法人 知床財団)

背景

世界自然遺産地域を擁する斜里町では 1980 年代よりヒグマに関する様々な調査が行われ、延べ約 70 頭に発信器付首輪を装着したテレメトリー（電波追跡）調査も実施されてきた。およそ 20 年にわたる調査から、主にメス成獣の行動圏、生息地利用の季節変化などの知見が得られている（山中・青井 1988、山中 2001）。しかし、捕獲は斜里側の国指定知床鳥獣保護区（以下、保護区）にある幌別・岩尾別台地に限られたため、知床半島のその他の地域に関する情報は乏しく、また広範な行動圏を持つオス成獣、半島を離れて広く道東に分散している可能性のある亜成獣の動きは追いきれていない。

データ不足の要因の一つには、VHF テレメトリー調査の弱点である追跡コストの高さが挙げられる。複数の標識個体の行動を詳細に把握するには、相応の作業量確保を必要とする。しかも標識個体が道路から離れた行動圏を持つ場合、陸上からの追跡努力ではその行動を捉えきれない。近年急速に開発が進んだ GPS テレメトリーは、こうした VHF テレメトリーの弱点を克服する可能性を持つ。GPS テレメトリー受信機である GPS 首輪は、首輪に内蔵された GPS とコンピューターでスケジュールに従って現在位置を測位し、位置データをメモリーに蓄積する。データは首輪を脱落装置で回収後に有線で、あるいは動物に装着したまま無線でダウンロードできる。知床財団では環境省委託事業として 2003・2004 年度に GPS テレメトリーのヒグマへの実装試験を実施し、11 例の装着により実用へ向けた知見を集めることができた（小平ら 2004、間野ら 2005）。本プロジェクトではこの試験事業を発展させ、GPS テレメトリーを用いたヒグマの長期的なモニタリング体制を立ち上げることを目的とした。

方法

捕獲・標識装着

捕獲は 2006-2008 年の 5 月から 11 月の無雪期に、保護区内斜里町側の幌別・岩尾別台地において、2 サイズのバレルトラップ（径 63 cm × 240 cm、径 77 cm × 240 cm）を蜂蜜を誘因餌として 6-8 か所に設置した。ワナには扉の閉鎖時に信号が停止するよう発信器を取り付け、ワナ設置中は毎日午前と午後に信号を確認し、週 1 度は直接視認のため現場を訪れた。信号停止時には捕獲の有無を確認し、捕獲があれば個体の体重推定、ワナ周辺のクマ痕跡、ワナの状態などを、捕獲がなければ信号停止の原因究明と復旧を行った。捕

獲があった場合、作業員 6-8 名と機材を用意し、塩酸メデトミジンと塩酸ケタミンを投与して不動化し、性判定、外部計測、GPS 首輪 (GPS4000, GPS4400M; LOTEK, Canada) と耳タグの装着、体毛・血液・上右前臼歯 (UPM1) の採取を行い、塩酸アチパメゾールで覚醒を促して放獣した。周辺地域の利用者と半覚醒個体の遭遇を避けるため、放獣が夕刻になるよう作業は午後に行った。

首輪の設定・回収と管理

捕獲と標識装着は、ヒグマと作業員どちらにも危険な作業である。コストも考慮すると、首輪装着期間は 1 年間では短かすぎる。GPS 首輪は 2 回の冬眠期を含む 2 年間の作動期間を持つことが望ましいと考えられた。したがって本調査では、2 年寿命の首輪を年 5 頭に装着することで、2 年目以降には常時 10 頭をモニターする体制を目標とした。GPS 首輪は時限脱落装置により標識個体から脱落・回収し、メーカー整備を受けた後、再利用が可能である。

GPS 測位頻度は、バッテリー寿命から計算して少なくとも 2 年間の作動が見込まれる 2 時間置き (1 日 12 回) とし、クマが冬眠穴に入り測位が期待できない 2 ヶ月 (1 月 1 日-2 月末日) はバッテリー節約のため停止するスケジュールとした。標識個体はその位置を随時モニターし、月に一回程度の頻度でデータの無線回収を試みた。無線回収には専用の交信ユニットを使用し、十分に接近した位置 (地形・植生によるがおよそ 100 m 以内) から UHF 交信を行い、首輪メモリーに蓄積されたデータを回収した。地上追跡から入感のない個体、データ回収ができない個体は航空機からの搜索とデータ回収を行った。

首輪には装着 2 年後に作動する脱落装置を取り付けた。また、標識個体の死亡あるいは途中脱落 (首輪からのすりぬけ、装置破壊) で首輪が 5 時間以上動かなければ VHF シグナルが通常信号から死亡信号に変化する設定とし、死亡信号が 1-2 日続いた時は指向性アンテナを使用して首輪を搜索し回収した。回収した首輪は直接 PC に接続してデータを回収した後、refurbish (再生) 作業のためメーカー (LOTEK 社、カナダ) へ送った。再生作業は首輪の損傷程度により 1-3 カ月かかり、新規バッテリーとともに返送される再生済み首輪は次回の装着用に保管した。

データの分析

得られるデータは捕獲個体の位置データ (緯度経度、標高) と首輪温度である。捕獲時の個体情報 (性・年齢、メスなら繁殖状況) と合わせ、オス成獣では年間行動圏とその季節変化、亜成獣では分散経路・分散先、メス成獣では繁殖率、そして死亡率などの推定が可能となる。本報告では、行動圏の比較、繁殖状況、冬眠行動、確認した死亡数についてと、GPS 首輪の測位率と耐久性についてまとめ、今後の同個体群管理の方向性について考察した。

結果

捕獲と標識装着

2006-2008年の3年間に1034ワナ日の捕獲努力を費やし、のべ21頭のヒグマを捕獲、うちのべ15頭にGPS首輪を装着した(表1)。年平均5頭装着は当初の目標頭数を満たす結果であった。21頭中6頭(オス0-1才5頭、メス2才1頭)は体が小さくGPS首輪の装着を見送った。

表1. ヒグマの学術捕獲実績、2006-2008.

年	捕獲努力 (ワナ日)	捕獲				計	GPS 装着
		オス 0-1	オス 2+	メス 0-1	メス 2+		
2006	426.0	3	2	0	4	9	6
2007	290.5	1	2	0	3	6	4
2008	317.5	1	2	0	3	6	5
計	1034.0	5	6	0	10	21	15

GPS装着個体のうち、メス9頭の体重は平均94.8 kg (SE = 3.60)、オス6頭では平均155.8 kg (SE = 34.07) であり、最大はオス成獣の255 kg、最小はオス2才の74 kgであった。

当初の計画では、プロジェクト2年目以降に鳥獣保護区外でも捕獲を実施する方針であったが、捕獲許可取得後に土地管理者とワナ設置位置についての折り合いがつかず、捕獲は保護区内のみに留まった。

首輪の設定・回収と管理

装着した15例のうち、7例が首輪破損やすり抜けによる2年未満の脱落(中途脱落、未回収1台を含む)、3例が脱落不能で未回収、2例が自然死にともなう回収であり、2008年度末現在で正常に機能しているのは2008年に装着したうちの3台のみとなった(表2)。中途脱落7例のうち、木綿ベルト破損が3例、すり抜けが2例、脱落装置破損が1例、未回収のため不明が1例であった。平均装着月数は、現在正常に稼働中の3台を除き、8.8ヶ月であった。木綿ベルトは、これまで亜成獣に装着して約1年で摩耗破損していたベルトを2枚重ねで装着したが、1枚と同様に約1年で破損してしまった。すり抜けの2例は、いずれも捕獲時にまだ首の細い亜成獣だった個体に首輪を最小サイズで装着したが、やはり余裕が大きく自力で外してしまったものである。破損した脱落装置は、これまで作動不良が頻発したLOTEK製品(GPS首輪と同社)から乗り換えた時限装置(Sirtrack社、NZ)が、破断強度60 kgしかなかったためである。同社は新しく強度110 kgの製品を市販化しており、

在庫分はすでにこの新型に交換した。

首輪の管理状況については、2006年度には2台、2007年度は5台、2008年度は5台を回収・再生に回しており、間もなく作業を終えて返送される5台に手元の2台を合わせ、7台が2009年度に使用可能となっている。

データの分析

3年間でのべ15頭のヒグマから約119ヶ月分のGPSデータが得られた。このうち装着期間10ヶ月以上の個体は5頭で、これらに関してはほぼ年間行動圏に近いものが推定できた。装着期間の短い残りの個体からも、オス成獣の動きなど新しい知見が得られた（15頭の位置データは末尾の資料を参照）。

表2. ヒグマの個体別GPS首輪装着履歴、2006-2008. 塗りつぶしはデータが得られた期間を表し1セルで約3ヶ月。備考欄中、脱落不能：装置故障により脱落不能状態； 中途脱落：首輪破損やすり抜けにより2年未満で首輪が外れたもの； 故障：バッテリー故障で測位と発信不能であり状況不明。

ID	性・齢 (捕獲時)	06	07	08	装着 月数	備考
05B15*	♀成				17	駆除・回収
06B06	♀成				11	自然死・回収
06B10	♀成				30	脱落不能・未回収
06B16	♂2				10	中途脱落・回収
06B17	♀成				9	故障・未回収
06B18	♀成				1	故障・未回収
06B19	♂2				1	中途脱落・回収
07B02	♂成				14	中途脱落・回収
07B07	♂成				5	中途脱落・回収
07B08	♀成				13	中途脱落・回収
07B17	♀成				9	自然死？・回収
08B03	♀成				6	正常
08B04	♀成				1	中途脱落・未回収
08B08	♂成				2	中途脱落・回収
08B13	♂成				4	正常
08B14	♀成				3	正常

* 最上行、05B15は本プロジェクト以前（05年6月）にGPS首輪を装着した個体。

1. 行動圏の比較

本プロジェクト以前のデータも含め、GPS首輪の装着期間10ヶ月以上のメスの行動圏は、MCP（最小外郭法）推定で平均52.2 km²（n=8）、95%FK（固定カーネル法）推定で平均10.8 km²であるのに対し、装着期間がはるかに短いオス行動圏はMCP推定で平均105.5 km²（n=

6)、95%FK 推定で 15.2 km²であった (表 3)。平均値の比較では、特に MCP 推定においてオスのそれはメスの約 2 倍と広く、従来の知見を支持した。しかし個別にみると、これまであまり報告のない事例を含んでいた。

メス 1 才である 04B12 は、オス平均値に近い MCP 行動圏を持っていた。これはこの個体が、知床半島の基部方向へ一度移動を行ったためである (図 1)。04B12 はいったん保護区内へ戻ったあと、保護区外のウトロ市街地へ侵入し駆除となった。また、07B08 は行動圏の確立した高齢の成獣でありながら、1 才の子と別れた秋に、上記の 1 才個体のように同半島の基部方向への移動行動を見せた (図 2)。この個体は約 3 週間で保護区内に戻り、従来の行動圏内で冬眠した。

表 3. ヒグマの行動圏比較、2003-2008. MCP は最小外郭法、FK は固定カーネル法による推定行動圏面積.

ID	性・齢 (捕獲時)	月数	測位数	MCP (km ²)	95%FK (km ²)	50%FK (km ²)	備考
04B03	♀成	23	3203	38.7	10.6	1.7	07/5月駆除。05B15
04B11	♀成	13	495	30.5	10.7	2.1	故障・未回収。08/7月目撃
04B12	♀1	19	721	92.4	14.0	2.5	06/5月駆除
04B13	♀成	12	374	23.2	7.3	1.1	故障・未回収
04B14	♀成	10	497	24.2	6.1	0.9	05/9月中途脱落
06B06	♀成	11	2288	21.1	10.2	1.5	07/7月自然死
06B10	♀成	30	4149	50.6	11.7	2.1	故障・未回収。08/11月目撃
07B08	♀成	13	2914	137.0	15.6	2.4	08/7月中途脱落
				52.2	10.8	1.8	
03B08	♂2	2	2044	257.6	13.9	1.5	無線脱落。半島外分散(推定)
06B16	♂2	10	2064	35.0	12.8	2.6	07/7月中途脱落
05B02	♂成	2	1625	19.9	7.2	0.1	05/7月中途脱落
05B04	♂成	3	1173	100.4	10.7	0.1	05/8月中途脱落。08B13
07B02	♂3-5	14	3636	63.2	23.2	3.3	08/7月中途脱落
07B07	♂3-5	5	1096	157.1	23.2	3.2	07/11月中途脱落
				105.5	15.2	1.8	

オスの場合、05B04、07B07の行動圏は、MCP推定でメス成獣の2-3倍であった。面積的には上記のメス1才、高齢メスの例と大差ないが、位置データの分布には違いがあった(図3)。捕獲時体重217.5 kgの05B04は、繁殖期に岩尾別台地で標識装着を受けた後、羅臼湖を經由して半島を横断、羅臼側の海岸近くで首輪を落とし、行方不明となった。2008年9月に再び岩尾別台地で捕獲され(08B13、2008年末時点でモニター中)、この個体が脊梁山脈を越えて半島の両側にまたがる行動圏を持つことがわかった。年間行動圏はここで推定したものより大きいことは間違いない。07B07は捕獲時137 kgで3-5才の個体である。この個体は保護区内での捕獲・放獣後、公園外で数カ月を過ごし(図3青点分布、左下)、9月に20 km以上離れたルシャ地区(図3青点分布、右上)へ数日間で移動した。11月にはルシャを離れ、硫黄山北面の混交林内で首輪を落とした。

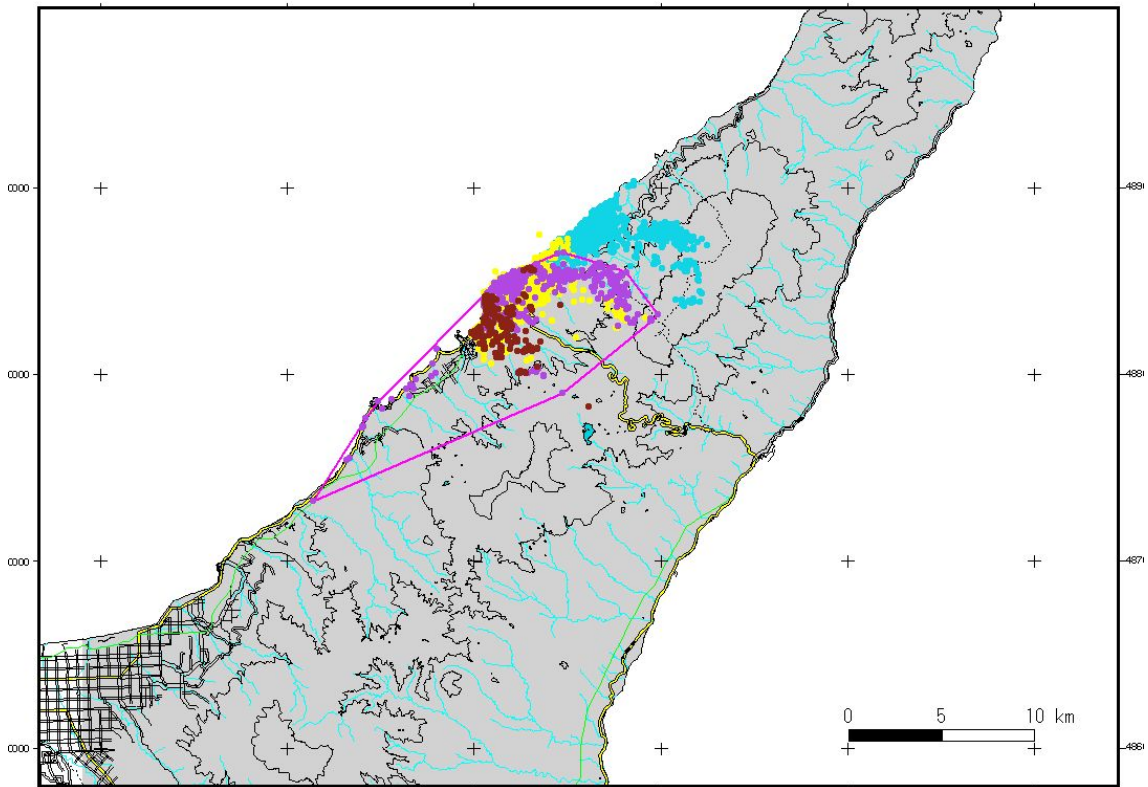


図1. メス1才 (04B12) の位置データ (紫点) と MCP 行動圏 (紫実線). 一度の分散予備行動のため、行動圏面積はメス成獣平均の倍になった. 青・黄・茶点は他のメス成獣の年間位置データ.

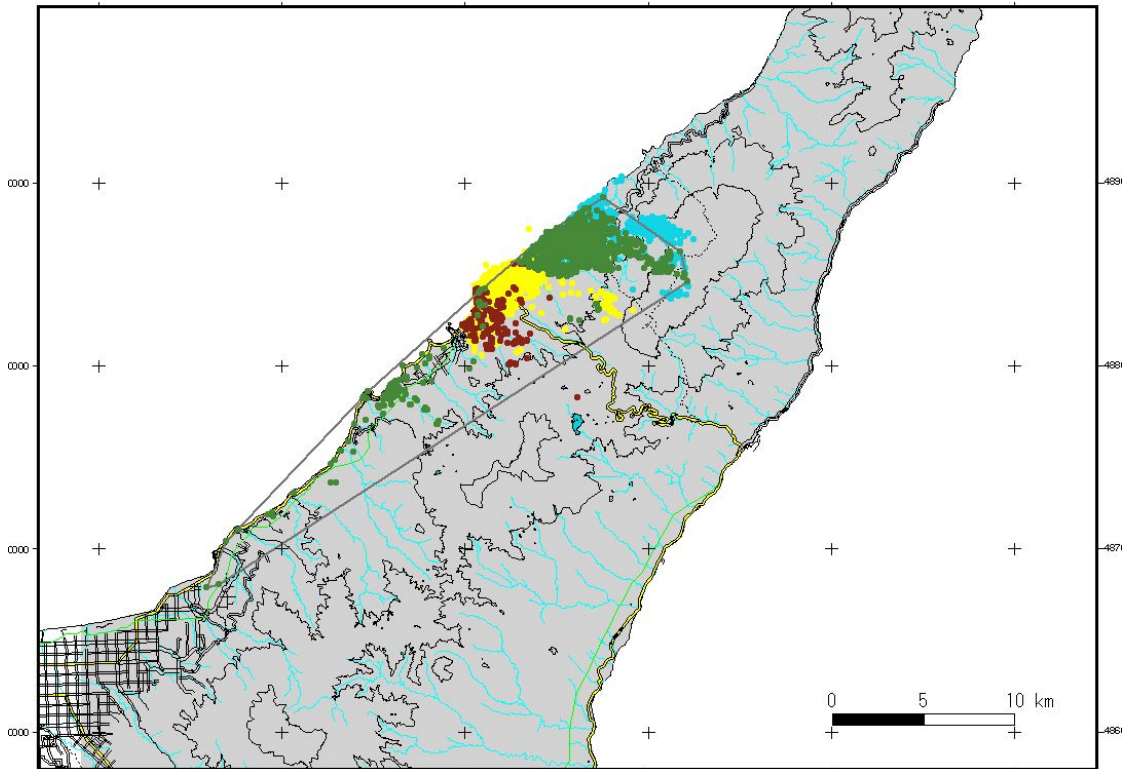


図2. 高齢メス (07B08) の位置データ (緑点) と MCP 行動圏 (緑実線). 04B12 (図1) に似る.

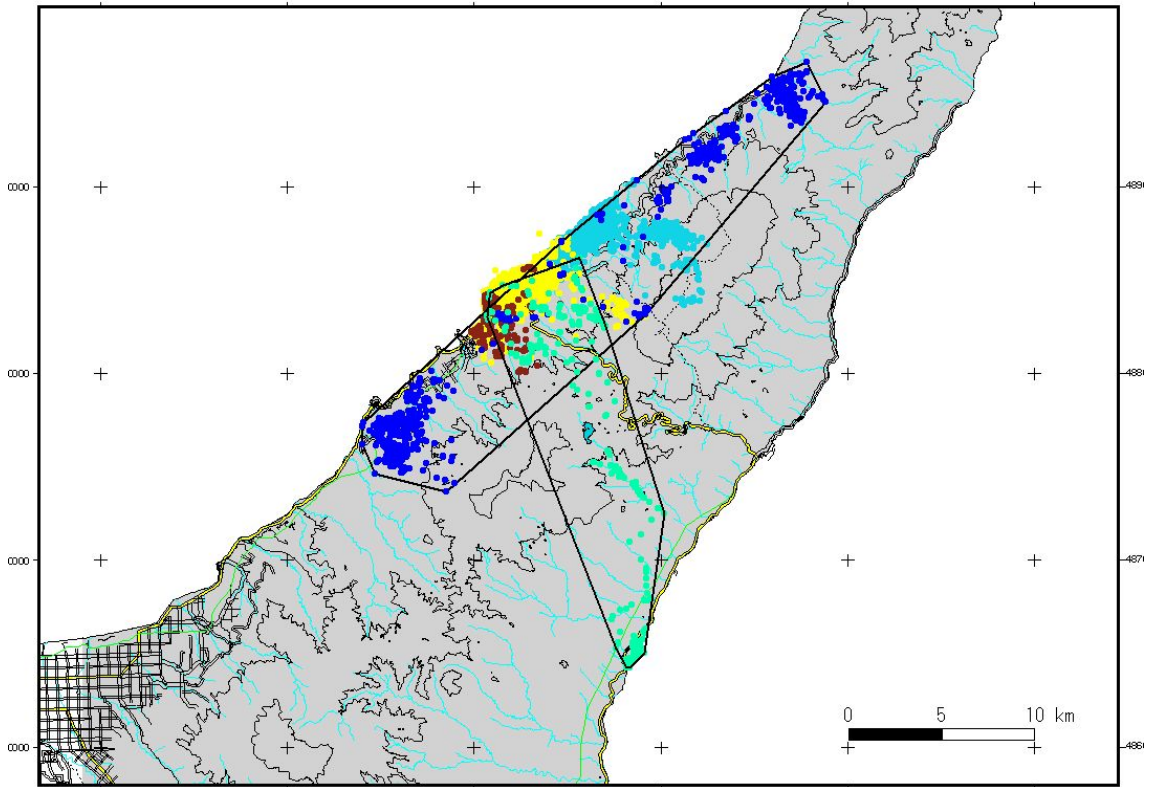


図3. オス2頭の行動圏. 05B04 (成獣、装着3カ月: 緑点と実線) と 07B07 (3-5才、装着5カ月: 青点と実線).

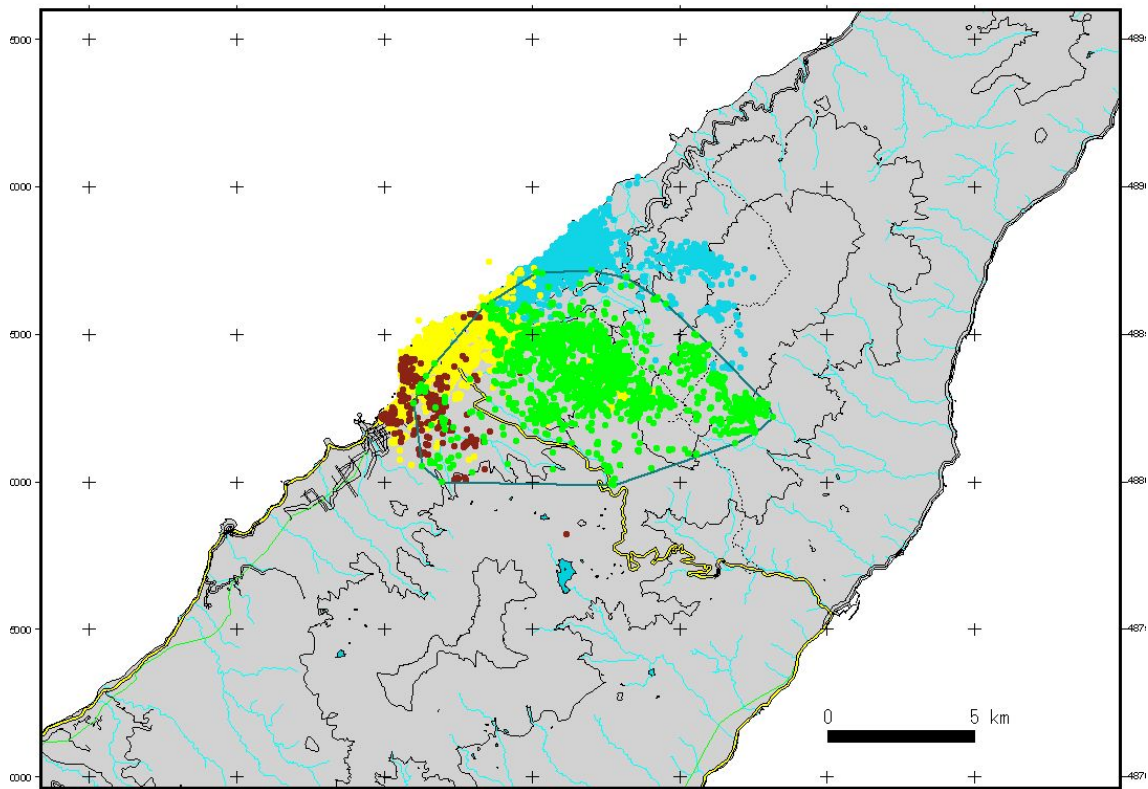


図4. 07B02（オス3-5才、緑点と実線）の年間行動圏。

07B02は前述07B07と体格に近い3-5才で、今回唯一1年以上の追跡ができたオス個体であるが、その年間行動圏はMCP推定ではメス並みに狭い（表2）。この個体の位置データ分布を見ると、行動圏は楕円形に近く、その中をいわゆる2変量正規分布のようにまんべんなく利用していた（図4）。95%FK推定では、上述07B07と同等で標識個体中もっとも大きな面積を持っていた。

なお、本プロジェクト期間内で、標識個体による同半島外への分散行動は確認できなかった。期間外の調査を含むと、2003年捕獲のオス2才（表3、03B08）が同半島基部まで移動し、諸般の事情から半島外への分散を確認する前に無線脱落により首輪を回収した。その後この個体の捕獲報告はなく、半島外へ分散したと推測される。

2. 繁殖状況

本プロジェクト期間内では繁殖状況を判断するに十分な量のデータが得られなかったため、ここではGPSテレメトリー調査を開始した2003年以降の標識個体についての繁殖状況をまとめた。2003年から2008年の6年間に、3才以上のメスヒグマ11個体をのべ33メス年観察し、0才子15頭を確認した。Schwartz and White (2008)の方法とjackknife法によって求めた統計値は、出産1回あたりの平均産子数1.667子（SE = 0.017）、出生率0.5子/成獣メス・年（SE = 0.012）であった。期間が一部重複するが、1993年から2004年に同地域で観察した結果から求めた値（Kohira et al. 2009; 出生率0.604 [SE = 0.008]）に比較すると、出生率の低下がみられる。

捕獲時4才だった04B03が、2005年に5才で出産した。標識個体の初産が確認されたのは、知床では初めての例である。捕獲時3才の04B11は2007年に6才で出産したが、4才、5才時の観測がないため、初産かどうかは不明であった。

表4. GPS首輪を装着した3才以上のメスヒグマの繁殖状況、2003-2008。「単」は単独(子なし)、「a才 x b」はa才子b頭連れ、「-」は不明。点線枠は首輪装着期間、塗りつぶしは死亡確認年。07B17は2008年で死亡が疑われるが確認なし(「確認死亡数」の項参照)。

ID	捕獲時齢	2003	2004	2005	2006	2007	2008
03B04	成	2才 x 1	0才 x 2	1才 x 1	単	単	単
03B05	成	0才 x 1	1才 x 1	0才 x 3	1才 x 3	-	-
04B03	4		単	0才 x 1	1才 x 1	0才 x 2	
04B08	7		単	-	単	単	0才 x 2
04B09	成		単	-	単	-	-
04B11	3		単	-	-	0才 x 2	1才 x 2
04B13	成		0才 x 1	-	単	-	-
04B14	成		単	0才 x 1	-	-	-
06B06	16				1才 x 1?	単	
07B08	成					1才 x 2	単
07B17	成					1才 x 1	単

*点線枠に切れ目のない04B08、04B09、04B11、04B13の4頭は、故障のため首輪未回収。

3. 冬眠状況

従来のVHFテレメトリーでは、冬眠穴位置の特定や、冬眠の開始と終了確認のために標識個体を1頭ずつ監視し続ける必要があり、短期間に多くの標本数を得ることは難しい。一方GPSテレメトリーでは、自動的に蓄積されるデータから冬眠穴に通わずとも冬眠行動の一部を類推することが可能である。

冬眠行動の開始・終了の確認には、首輪温度と測位データが根拠になる。11月末頃の冬眠前における首輪温度は、クマが行動する日中には首輪が外気にさらされるため気温とほぼ同等まで下がり、夜間にはクマが体を丸めて就寝するため高くなる。そのため首輪温度は約24時間周期の上下動を繰り返す(図5)。

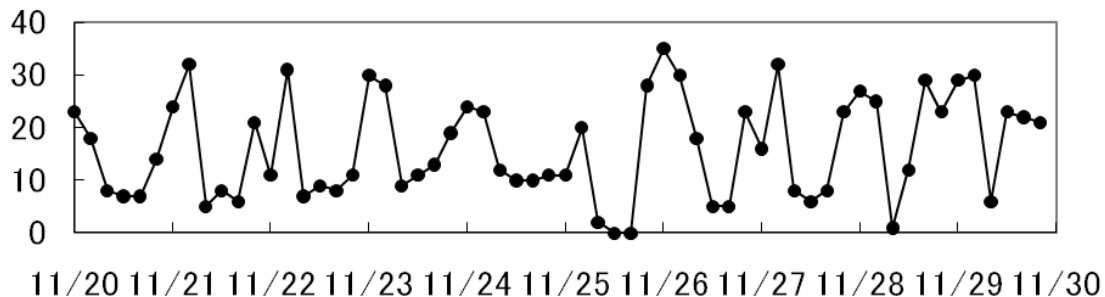


図5. 冬眠前における首輪温度の日周変化の例。縦軸は摂氏温度、横軸は日付。

冬眠を開始すると、首輪が外気に触れず、かつクマが多くの時間を睡眠姿勢で過ごした

め、首輪の温度が高い状態に安定する（図 6a）。冬眠終了は、開始と逆に 24 時間周期の上
 下動へと変化する（図 6b）。冬眠の開始・終了は、通常数日間の移行期を伴い、その間クマ
 は穴へ出たり入ったりを繰り返す。例では、12 月 2 日から 4 月 12 日を冬眠期とした。冬眠
 穴に入ると GPS 衛星との交信が不能になるため、冬眠期は測位データが欠落する。冬眠の
 直前・直後の測位データを持って冬眠穴の推定位置とした。

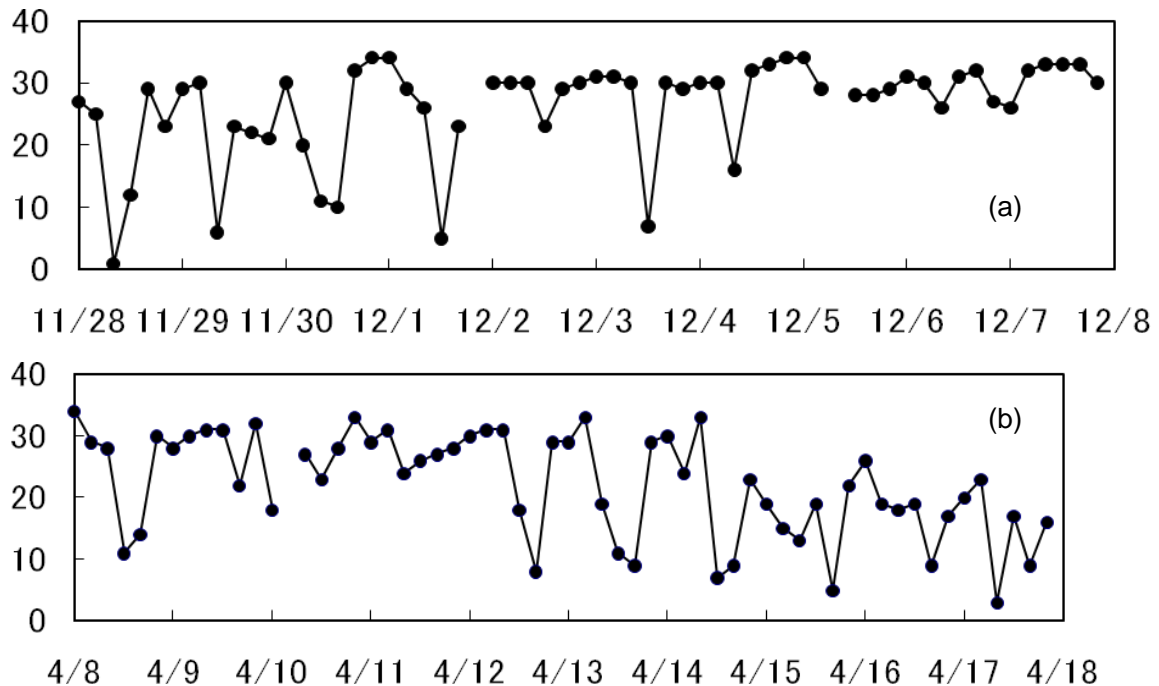


図 6. 冬眠の開始 (a) と終了 (b) 時期における首輪温度変化の例. 縦軸は摂氏温度、横軸は日付.

2004 年冬から 2008 年春にかけ、4 回の冬眠期に 15 例（メス 13、オス 2）の冬眠データ
 が得られた（表 5）。上記の方法で推定した冬眠期間は 11 月 11 日から 12 月 18 日の間に始
 まり、3 月 1 日から 5 月 14 日の間に終了した。冬眠日数は平均 120.8 日（73-183 日）であ
 った。

表 5. GPS 標識個体の冬眠状況、2004-2008.

年	個体 ID	齢	冬眠穴位置	冬眠標高	冬始	冬終	日数	明け構成
04/05	04B03	AD	岩尾別川左岸	100 m	11/29	4/4	126	0 才 x 1
04/05	04B08	AD	岩尾別台地海岸断崖	100 m	12/10	3/22	102	不明
04/05	04B12	1	岩尾別川上流	200 m	12/13	3/15	92	単
04/05	04B13	AD	硫黄川中流	350 m	12/4	4/12	129	不明
04/05	04B14	AD	幌別川上流	350 m	12/13	4/7	115	0 才 x 1
05/06	04B12	2	幌別川右岸	50 m	12/18	3/1	73	単
05/06	04B03	AD	岩尾別台地海岸断崖	100 m	12/14	3/4	80	1 才 x 1
06/07	04B03	AD	フレペ灯台海岸断崖	50 m	12/1	4/30	150	0 才 x 2
06/07	06B06	AD	羅臼岳西面	1050 m	11/26	3/26	120	単
06/07	06B10	AD	知円別岳西尾根	900 m	11/12	5/14	183	単
06/07	06B17	AD	イダシュベツ川下流	250 m	11/30	4/21	142	不明

07/08	06B10	AD	知円別岳西尾根	850 m	11/11	4/25	166	単
07/08	07B08	AD	岩尾別台地海岸断崖	50 m	12/14	3/27	104	単
06/07	06B16	2	オッカバケ岳西尾根	750 m	12/13	4/19	127	オス
07/08	07B02	3-5	羅臼岳北西面	650 m	12/04	3/16	103	オス

これらのうち、オスと幼獣、繁殖状況不明のメスを除いたメス成獣8例について、冬眠明けに出産していた3例（出産例）と、出産していなかった5例（非出産例）について比較した。出産例は非出産例より冬眠日数が長く、冬眠明けが遅いことが予測されたが、高齢の単独メスがもっとも冬眠明けが遅かったため、2者間に有意差は見られなかった（ t 検定、冬眠日数 $P = 0.496$ ；開始日 $P = 0.446$ ；終了日 $P = 0.261$ ）。また冬眠標高と冬眠日数・開始日・終了日の間にも相関関係はなかった。有意な関係が見られたのは、冬眠日数と開始日に負の相関（ $R^2 = 0.79$ 、 $ANOVA-F = 22.8$ 、 $P = 0.003$ ）、冬眠日数と終了日に正の相関（ $R^2 = 0.94$ 、 $ANOVA-F = 92.8$ 、 $P < 0.001$ ）であり、冬眠日数の長い個体は早く冬眠穴に入り、遅く穴から出る傾向にあった。つまり、冬眠開始が早ければ、冬眠明けは遅いことが予測される。

4. 確認死亡数

2006-2008年の間、斜里町・羅臼町合わせてヒグマ81頭の死亡が確認された（表5）。死因のうち、自然死が3件、交通事故が1件で、残り77件が有害捕獲と狩猟による人為死亡であった。町別の捕獲数を見ると、斜里町は13-15頭とほぼ安定しているが、羅臼町は2006年の9頭から2008年の17頭へと増加傾向が伺える。

特筆すべきはメス成獣の死亡数増加である。この3年間の年平均死亡数5頭は、過去20年間（1985-2004）の平均値1.9頭（Kohira et al. 2009）の2.5倍にあたる。両町合わせたメス成獣死亡数15件のうち、狩猟は3件、自然死は1件であり、残り11件は住宅地や農地への出没に伴う有害捕獲であった。

なお、2008年5月から死亡信号となり、8月に行った2回目の捜索で回収した07B17（メス成獣）のGPS首輪（破損なし）の周囲にクマの死体、死亡痕跡は見つからなかった。首輪に残った腐敗臭からこの個体の死亡が疑われたが確証なく、ここでは死亡数に含んでいない。

表5. 斜里町・羅臼町で捕獲（死亡確認）されたヒグマの内訳、2006-2008.

年	オス					メス					不明	計
	0	1	2	3-4	5+	0	1	2	3-4	5+		
斜里町												
2006		2	3		1		1		2	4		13
2007		4	3	4			2			3		16
2008	1	2			4	1	2	1	3	1		15
町計	1	8	6	4	5	1	5	1	5	8	0	44

羅臼町

2006		1	3	2	2				1		9
2007		1	3	1	1		1		3	1	11
2008	3	1	3	2	2		1	1	1	3	17
町計	3	3	9	5	5	0	2	1	1	7	37
合計	4	11	15	9	10	1	7	2	6	15	81
年平均	1.3	3.7	5	3	3.3	0.3	2.3	0.7	2	5	27

* 2008年8月に首輪を回収し、周辺に死体はないが死亡が疑われた07B17を含まず。

5. GPS首輪の測位率と耐久性

GPS首輪は単価が高いが（VHF首輪の10-20倍）、回収後整備すれば再利用可能であり、複数回利用することで実質コストを下げられる点の特徴となっている。しかし、首輪の保証期間は購入後1年間に留まり、実際の野生動物への装着で何年使用できる耐久性があるかはメーカー側も情報を持ち合わせていない。ここでは2003年からの装着記録を用い、GPS首輪（LOTEK GPS4000、GPS4400M）の測位率と耐久性を検討した。

首輪一台の値段を約70万円（LOTEK GPS4400Mの場合）、装着1件（2年使用）後の再生作業とバッテリー新調に約10万円かかる計算で再利用回数と1件当たりコストの関係を見ると（図7）、再利用回数の増加に伴い1件当たりコストは漸減し、約20万円弱以下には落ちない。実際には、通常の再生作業に加えて故障・損傷部品の修理費用が上乗せされ、首輪が古くなれば上乗せ費用は増えていくため、コスト的には再利用3-5回程度で新品に買い替えるのが得策となる。しかし、現実にGPS首輪が3-5回の再利用に耐えられるかは機材の耐久性の問題である。

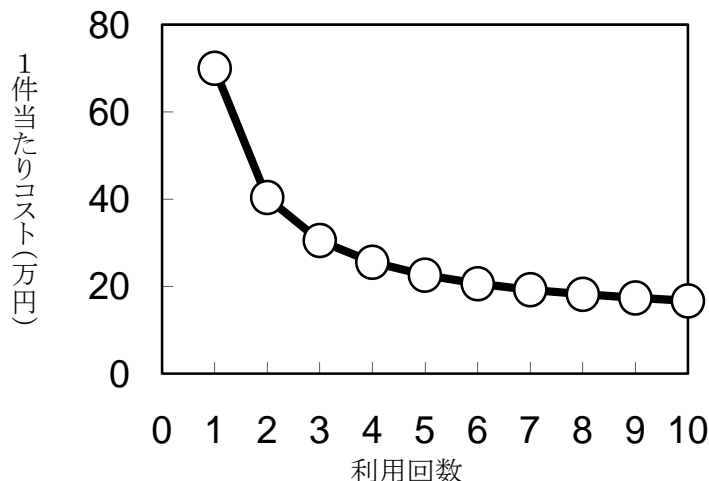


図7. GPS首輪の利用回数と1件当たりコストの関係。

2003 - 2008年度に装着した26例中、首輪本体に内蔵されたGPS、VHF、バッテリーに発生した故障はそれぞれ6例、1例、2例（重複故障を含む）であり、装着期間中に一切の不

具合がなかったものは18例であった。GPSとVHF故障の主な原因は、アンテナケーブルの損傷と思われた。時限スイッチ（タイマー）か無線信号でロックが解放され首輪を脱落させる装置であるドロップオフ（LOTEK社製）は、16例中1年以内に作動させた5例が正常に機能したが、装着2年後に脱落するよう設定した残り11例はすべて作動しなかった。これら11例のうち、3例は脱落期限前後に標識個体に接近して無線脱落を何度も試みたが、いずれも失敗した。また、中途脱落・回収した首輪のドロップオフ8例は、期限まで保管したがタイマーの作動はなく、至近距離からの無線信号でも作動はなかった。LOTEK社製ドロップオフの不具合が相次いだため、2008年度からは他社製品を使っている（上述）。

のべ190ヶ月分の装着データのうち、冬眠活動で測位成功率が低下する12月-4月分と、測位期間が10日に満たない月のデータを除いた21個体、122ヶ月の平均月測位率は0.605（SE=0.026）であった。ここで、月測位率（以下、測位率）とは対象月の測位努力数（31日×12回/日など）を分母、測位成功数（精度の良し悪しに関わらず、明らかなエラーを含まない測位結果）を分子として月ごとに求めたものとする。測位率の季節変化を見るため、装着年を揃えて（すべての個体が同じ年に捕獲されたものとして）図示したところ（図8）、春秋（5月、11月）の測位率が夏（8-9月）の測位率より高い傾向が見られた。しかし、これらの比較が可能なメス3頭について測位率の季節変化に統計的有意差は見られなかった（two-way ANOVA- $F = 0.602$, $P = 0.467$ ）。

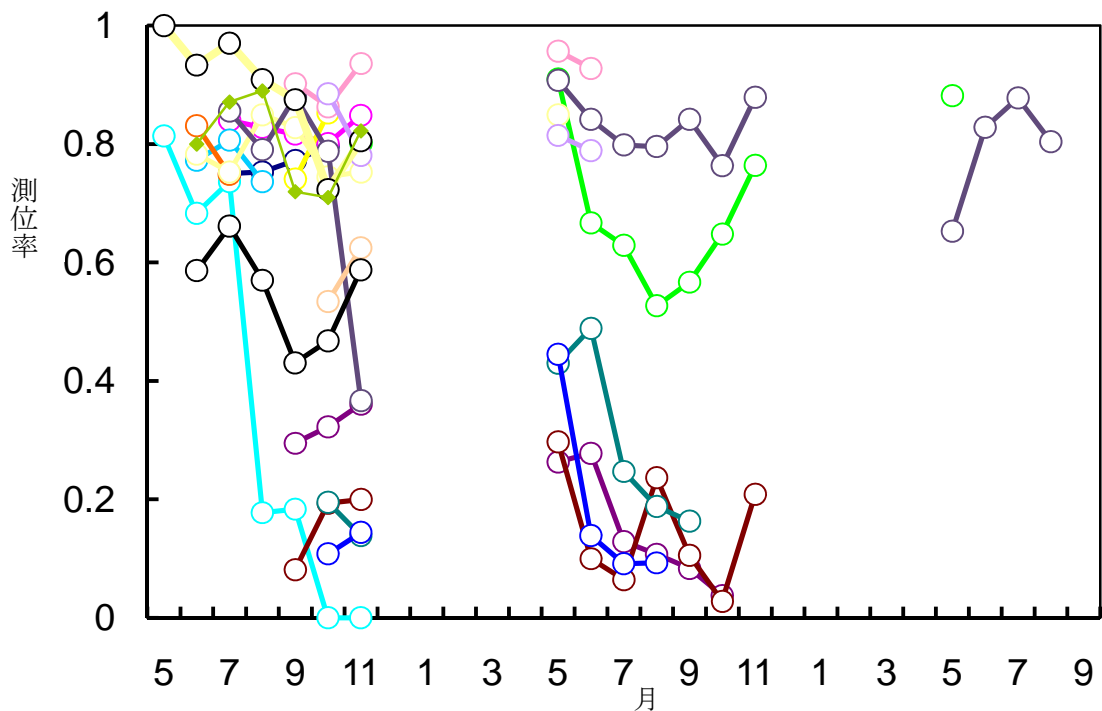


図8. 装着年を揃えた場合のGPS首輪測位率の経時変化。

季節変化が無視できるとして、装着月を揃え（すべての個体が同じ月に捕獲されたものとして）、冬眠期間の12月-4月を除いて図示したところ（図9）、測位率の高いグループと低いグループに二分され、装着期間5ヶ月以上の個体間（首輪間）に有意差が見られた

(ANOVA- $F = 33.1$, $P < 0.0001$)。測位率が常に0.5に満たなかった4例は、2004年に購入した続き番号のIDを持つ首輪であり、この時期の製品に問題があったことを示唆していた。3ヶ月目から4ヶ月目にかけて測位率の低下した1例は(図9、水色)、回収後に確認されたGPSアンテナケーブル損傷のためと判断された。当初予想された、装着月経過に伴う測位率の低下は見られたのはこの1例のみで、最初の月の測位率が高ければ高いまま、低ければ低いまま維持される傾向があった。

2008年度に整備に出した首輪のうち、2台(GPS4000)が再生作業中の検査に不合格となり、新品への下取りを勧める旨の通知がメーカーよりあった。これらはいずれも2003年に購入し、3回装着した首輪であった。ID184では、回が増すごとに初期(装着1-3ヶ月)の測位率が低くなり、その後の性能も漸次低下している(図10左)。ID182では、184より装着期間がはるかに短い、3回目の3ヶ月目に性能低下の兆しが見える(図10右)。GPS4000の場合、3回目の装着が使用期限の目途となるかもしれないが、標本数が2例と少ないことと、このモデルがすでに廃版となっていることからはっきりしない。後継機であるGPS4400Mの使用歴は多くても2回目であり、まだデータ不足である。

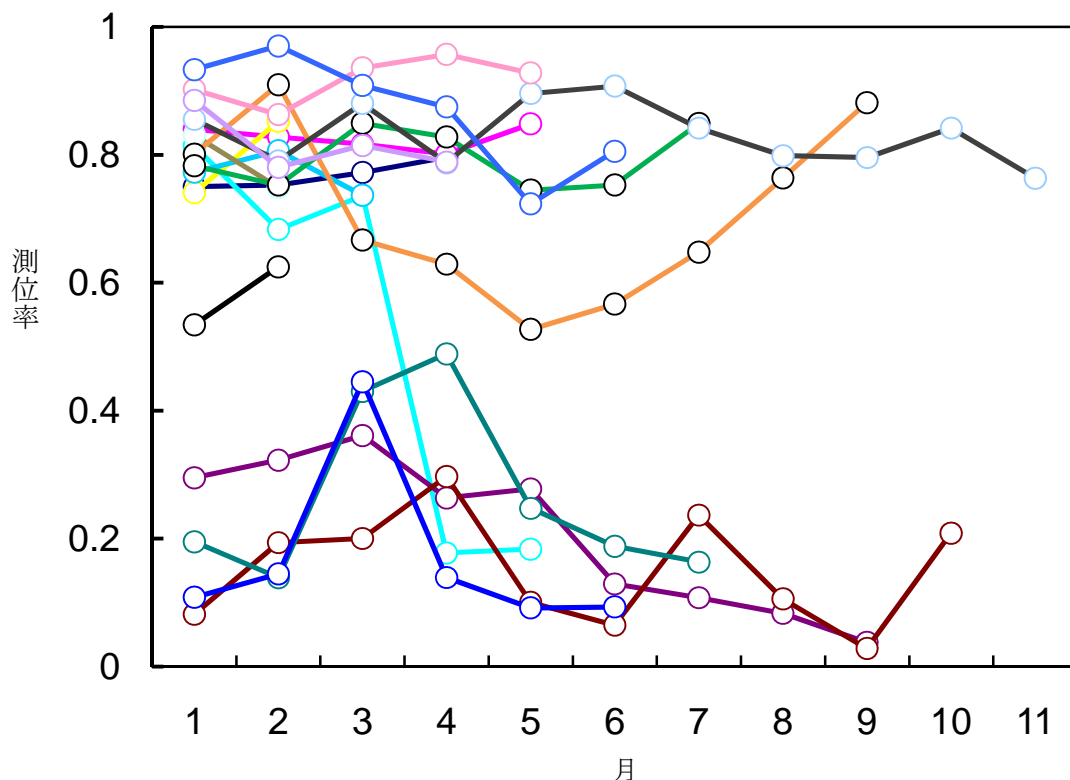


図9. 装着月を揃えた場合のGPS首輪測位率の経時変化.

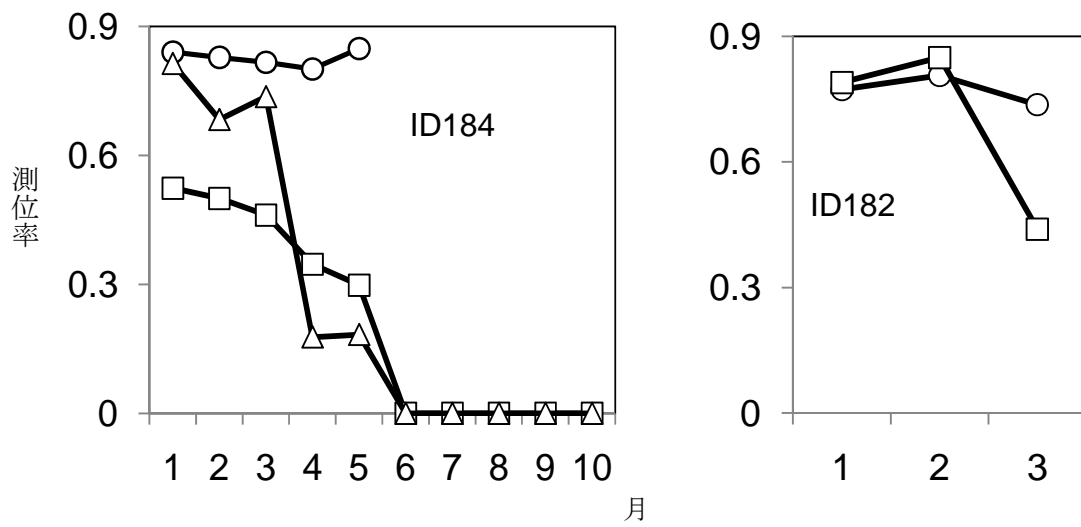


図 10. 複数回利用した GPS 首輪 2 台の測位率の経時変化. ID184 (左) と ID182 (右).
 ○ : 1 回目、△ : 2 回目、□ : 3 回目. 182 の 2 回目は数日で脱落したため図になし.

考察

1. 行動圏の比較

メス2頭にみられた半島基部方向への移動行動について、1才の方はメスにも見られる亜成獣による分散行動の予備的なものと考えられ、半島から外への分散個体の存在を示唆するものである。一方、成獣の方は分散行動では説明がつかない。この個体が約3週間という短期間で一連の行動を終え従来の行動圏に戻っていることから、メス成獣、特に子別れた単独個体がこのように行動圏を離れることは通常あることなのかも知れない。ヒグマのVHFテレメトリーでは位置推定の頻度が月に1、2度ということは珍しくなく、こうした行動を探知できなかったとしても不思議はない。

あるいは、知床のヒグマの行動圏が世界的にも小さいとされてきた理由はここにあると考えることもできる。他の地域ではこうした単独時の移動行動がもっと頻繁にあつて、年間あるいは生涯行動圏にこれらの行動が含まれているため広く、それに対し知床では移動行動がまれなため子連れ期の行動圏のみが観測され狭く推定された、という見方だ。もう一つ、高齢個体の異常行動と説明づけることもできる。後述する冬眠期間に関し、高齢メスは出産がなくても冬眠が長くなる傾向が示唆されている。2007年に自然死したメス成獣(06B06)は、それまでの警戒心が強く、目撃もほとんどない状態から一変し、連日の目撃が続いた後に死亡した。捕獲時体重が83.5 kgに対し、死亡後体重は53 kgとメス成獣として異常に軽かった。行動圏の変化も老化に伴う非適応的な行動であるという可能性も否定できない。今後の検討課題である。

オス成獣の年間行動圏推定、亜成獣の分散行動追跡に関しては、まだデータ不足である。しかし、1回の移動行動で行動圏面積を広げた上述のメス2頭とは異なり、オスの行動圏の広さはメスより広い地域で季節的なエサ資源を利用するためであることが明示された。具体的には、春から夏には保護区外のウトロ高原農地に出没する個体が、夏から秋のサケマス遡上期にはルシャ川流域へ移動していた。知床半島の狭さを実感する事例である。おそらく、行動圏が保護区内だけに収まるオス成獣はいないであろう。

2. 繁殖状況

結果で述べた、繁殖率の変化が知床でのヒグマ個体群管理に重要なモニタリング項目の一つである。年間5-7頭のメス成獣の繁殖状況を調査し、5年ごとに繁殖率を推定し経年比較することが望ましい。また、現状では幌別・岩尾別台地という狭い地域の結果を知床半島全域に適用していることに無理がある。今後は標識付けを他の地域でも行い、同半島個体群の繁殖率推定に適した標本抽出とすべきである。

3. 冬眠状況

当才連れのメスは冬眠明けが遅いとする仮説が今回の分析で支持されなかった理由は、この仮説に生物学的根拠がないからではなく、高齢単独メス2頭（06B06、06B10）の冬眠期間が長く、分析の検出力が不十分だったためと考えられる。他の項目と同様であるが、あと5、6例データがたまったあとでもう一度検討したい。

今回の分析で見られた、冬眠日数が長ければ冬眠開始が早く終了が遅いという相関関係は、冬眠開始時期を知れば終了時期を推定できることを意味する。上記の仮説が今後指示された場合、二つの話を合わせると、冬眠開始が早いメスは翌春出産する可能性が高いという推論が成り立つ。繁殖状況のモニタリングに役立つ情報であり、検討課題のひとつである。

4. 確認死亡数

個体群動態の推定をある程度の精度で進めるためには、死亡率の推定、特に性別・齢別死亡率の推定は重要な項目である。しかし、年間5 - 10頭前後のモニタリングでは、死亡率推定の標本数が足りない。また、今後死亡率推定のために大掛かりな調査を始めることも現実的でない。次善の策としては、すでに動態が分かっている他の地域個体群データを参考にし、知床個体群で分かっている部分、あるいは明らかに参考個体群とは異なる知床個体群の特徴的部分を代入したモデルを作ることである。その際、知床個体群の特徴となるのは人為死亡数の変化であろう。確認された死亡数がどれだけ真の死亡数（報告のない合法捕獲、密猟、自然死亡を含む）に近いのか不明であるが、合法捕獲の報告率を高める、密猟を減らすといった取り組みを続けることで確認死亡数を真の人為死亡数に近づける努力が必要である。そのうえで、人為死亡数、特に個体群動態に影響の大きいメス成獣の死亡数を指標とすることにより、個体群の科学的な管理が可能となる。

2006 - 2008年にメス成獣の死亡数が増えた要因として、一つには斜里町における有害捕獲体制の改善が挙げられる。役場と猟友会事務局双方の体制が刷新されて両者の意思疎通が円滑になり、農家を含めた三者の情報交換が早くなった結果、有害捕獲従事者の意欲も増大し、捕獲数が増えるという結果になった。また、同じ理由で狩猟捕獲の報告数が、以前の年間2頭以下から過去3年で9頭へと向上した。

体制の改善は歓迎すべきことだが、捕獲数の増加は必ずしも問題解決にはつながらない。猟友会の努力、捕獲数増加に関わらず、農業被害は慢性化したままである。捕獲効率が上がることは、農家の駆除依存、自助努力の不足を助長することにもつながる。農業被害対策は防除が基本、駆除は必要最小限という認識を関係者全員で共有するよう進めていきたい。

5. GPS 首輪の測位率と耐久性

GPS 首輪は、知床の環境において十分に高い測位率を発揮した。一つの目安として、装着最初の月に測位率が 50%に満たない場合は機材の不良が疑われる。可能なら回収・交換した方がよい。脱落装置は信頼性が低く、木綿ベルトを二次的な脱落装置として加える必要がある。その際、予定の装着期間（ここでは 2 年間に満たない期間途中で脱落する可能性もあるが、これは脱落装置単独に頼って首輪を回収不能とするよりは望ましいと言える。中途脱落を織り込んだスケジュールを組むべきであろう。われわれが使用したモデルの耐用期間は、装着 3 回程度と見るのが実用上無難と思われる。首輪の弱点は本体からベルトへ向かうアンテナケーブルの露出部であり、2007 年度後半からこの露出部にコーキング剤を充てんし補強している。ケーブル露出部は首輪サイズ調整に関係するため、補強剤充てんは装着作業の際に首輪サイズを決定するまでできないという難がある。これが首輪の耐久性を増すかどうかは今後判明する。

今後の方針について

1. ヒグマ個体群管理に関わるモニタリング

近い将来に個体群動態に配慮した知床におけるヒグマの管理計画が動き出す場合、方針決定の指標となるのは繁殖状況と確認死亡数の二つであろう。さらに、管理の原則をどう定義するかにより、方針も異なってくる。つまり、保護区内ヒグマ個体群のみの持続を目標とし、隣接個体群との関係は管理対象として扱わないという考え方と、隣接個体群も含めた個体群の持続を目標とし、半島と半島外との間の自然な移出入も管理対象とする考え方の二者に大きく分かれる。前者の場合、保護区内個体群の成長率を絶滅しない程度に低く抑えることが方針となる。後者の場合は隣接個体群との依存関係で決まり、仮に知床からの移出個体が隣接個体群の持続性を支えている場合（知床がソース個体群、隣接がシンク個体群）、知床個体群の成長率を、隣接個体群が持続できるよう高い水準に保つことが方針となるだろう。

現状では隣接個体群との関係が存在するかどうか不明であり、管理計画の開始までに解明されることは期待できない。それでも、この部分の調査は知床でのヒグマ管理を進める上で欠かせない重要項目である。具体的には、繁殖状況と隣接個体群との関係はテレメトリー調査などで、確認死亡数の記録は町との連携でモニターすることになる。

2. 繁殖状況

これまで寿命 2 年間の首輪を年 5 頭のヒグマに装着し、常時 10 頭のモニタリング体制を目標として 3 年間進めてきた。しかし、首輪故障、標識個体の死亡などによりモニタリン

グ頭数は最多時で6頭に留まった。常時10頭のモニタリングを達成するには、年8、9頭への装着、つまり今の捕獲努力量を倍にする計算となり、現実的でない。実現可能な方針としては、モニタリング頭数ではなく年装着頭数を基準とし、現状通り年5頭の装着（あるいはメス成獣3頭装着まで継続）を続けることが妥当と思われる。GPS首輪は数に限りがあることから、すでにデータ蓄積のある個体の再捕獲の際はVHF首輪に付け替えることも検討する。捕獲地域は拡張することが望ましい。

繁殖状況の確認は、出産が見込まれる標識メス成獣の冬眠明けを確認したら、電波追跡と冬眠穴付近の踏査で直接目視、あるいは雪上の足跡で0才個体の有無と頭数を決定する。確認が遅れるほど初期死亡で失われる新生児がカウントされず、出生率の過小評価につながるため、確認時期を春先に揃える。メス成獣が標識個体中に5頭いれば、5年で25例の繁殖状況が得られ、5年ごと出生率の経年比較ができるであろう。

3. 確認死亡数

従来通り、斜里町と羅臼町で確認された死亡個体の情報収集を継続し、さらに下記項目との関連で近隣町（標津・清里・小清水）でも同様の情報収集を始めたい。また、これまで入感がなければ行方不明で処理され、死亡か電池切れか判断できない電波標識個体（VHF・GPS）が多く、他の地域では標準となっている標識個体からの死亡率推定ができなかった。今後はVHF信号が死亡信号となった場合（首輪の脱落か個体の死亡）、極力早く現地調査を行う、行方不明の個体は陸・空からの探索を繰り返すなど、追跡を徹底して死亡データを蓄積する。

4. 隣接個体群との関係

この調査は重要項目であるが、作業量・コストともに知床財団の業務に組み込むことは難しい。外部研究者との連携が必要である。調査地域は斜里町・羅臼町に加え、標津町、清里町、小清水町など。調査項目は何らかの指標を用いたヒグマの生息密度・出生数・死亡数の推定、保護区で標識した個体が分散した場合はその追跡などである。ヘアトラップなどで標本が得られれば、DNA分析により保護区の個体との血縁関係調査も含まれる。目的は知床を含む広域でのヒグマ個体群構造の解明と、ヒグマ管理計画の方針に関わるメタ個体群モデルの構築である。

参考文献

小平真佐夫・岡田秀明・山中正実・早稲田宏一・間野勉. 2004. GPSテレメトリーヒグマ生態調査報告書. 「第6回自然環境保全基礎調査・生物多様性調査・種の多様性調査（北海道）報告書」pp. 15-26. 環境省自然環境局 生物多様性センター.

- 間野勉・小平真佐夫・岡田秀明・山中正実. 2005. GPS テレメトリーヒグマ生態調査報告書.
「第6回自然環境保全基礎調査・生物多様性調査・種の多様性調査（北海道）報告書」
pp. 4-11. 環境省自然環境局 生物多様性センター.
- 山中正実. 2001. ヒグマ. 「国設知床鳥獣保護区に関する調査報告書」（中川元編）pp. 57-64.
（財）日本鳥類保護連盟釧路支部、釧路.
- 山中正実・青井俊樹. 1988. ヒグマ. 「知床の動物」（大泰司紀之・中川元編）pp. 181-224.
北海道大学図書刊行会、札幌.
- Kohira M., Okada, H., Nakanishi, M., and M. Yamanaka. 2009. Modeling the effects of
human-caused mortality on the brown bear population. *Ursus* 20 (1) *In press*.
- Schwartz, C. C., and G. C. White. 2008. Estimating reproductive rates for female bears:
Proportion versus transition probabilities. *Ursus* 19 (1): 1-12.

資料： GPS 首輪を装着したヒグマの位置データ、2006-2008.

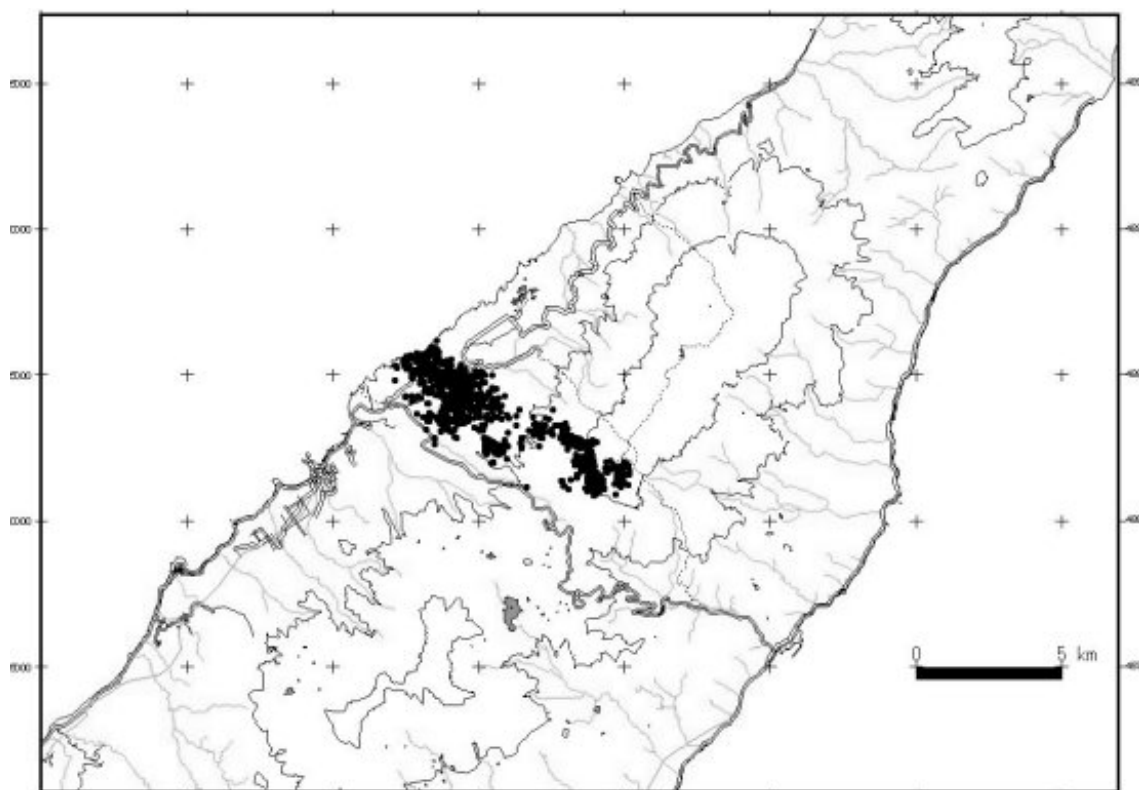


図 1. 06B06 (メス成獣、装着 11 ヶ月、自然死で首輪回収済み).

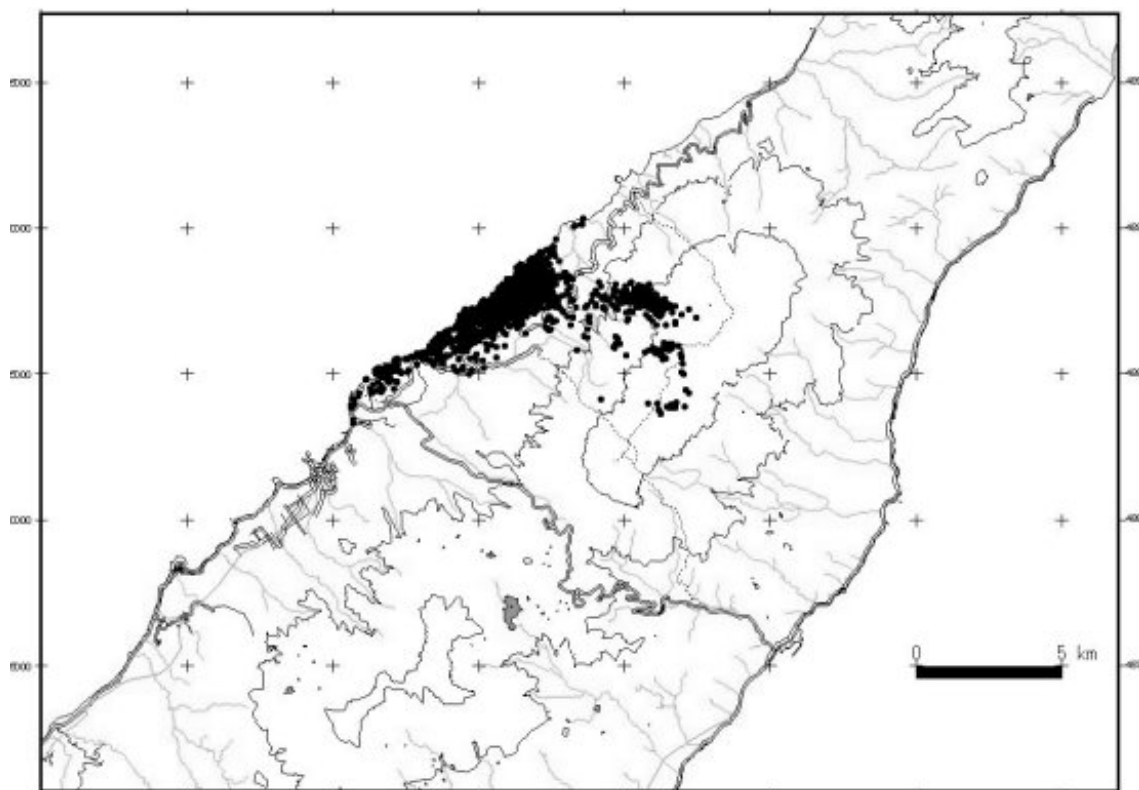


図 2. 06B10 (メス成獣、装着 30 ヶ月、脱落不能で未回収).

資料： GPS 首輪を装着したヒグマの位置データ、2006-2008.

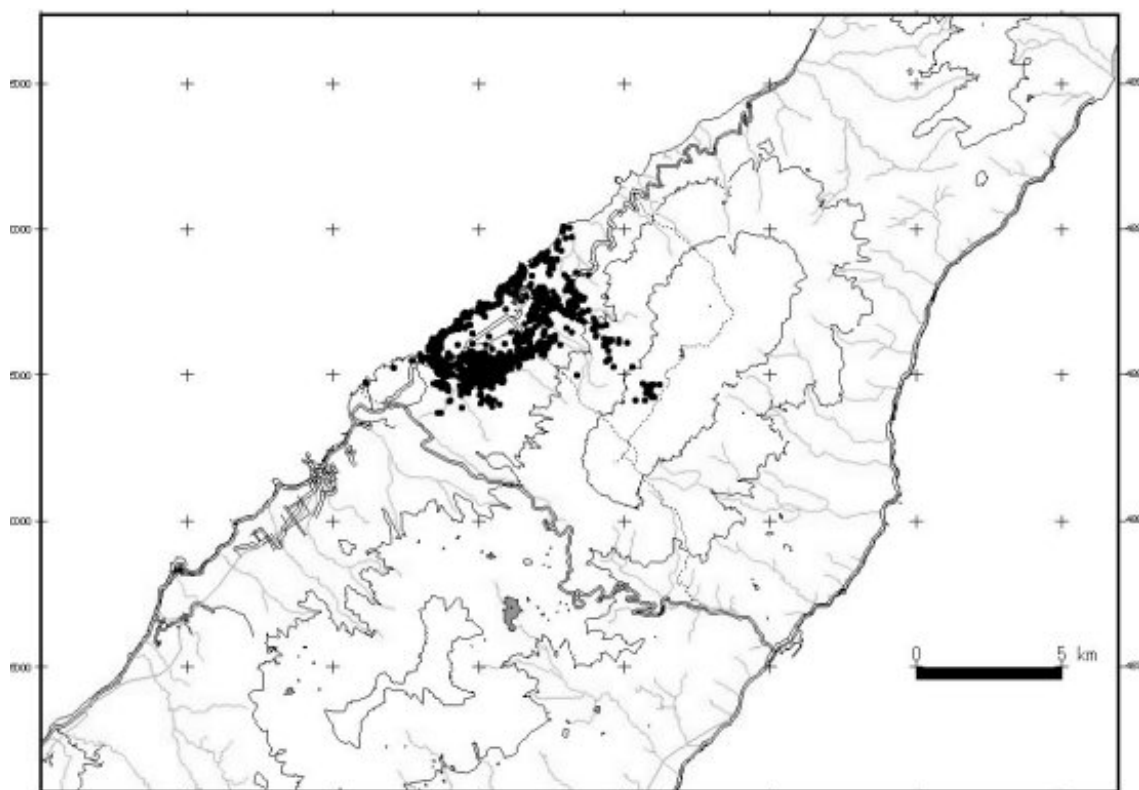


図 3. 06B16 (オス 2 才、装着 10 ヶ月、中途脱落、回収済み).

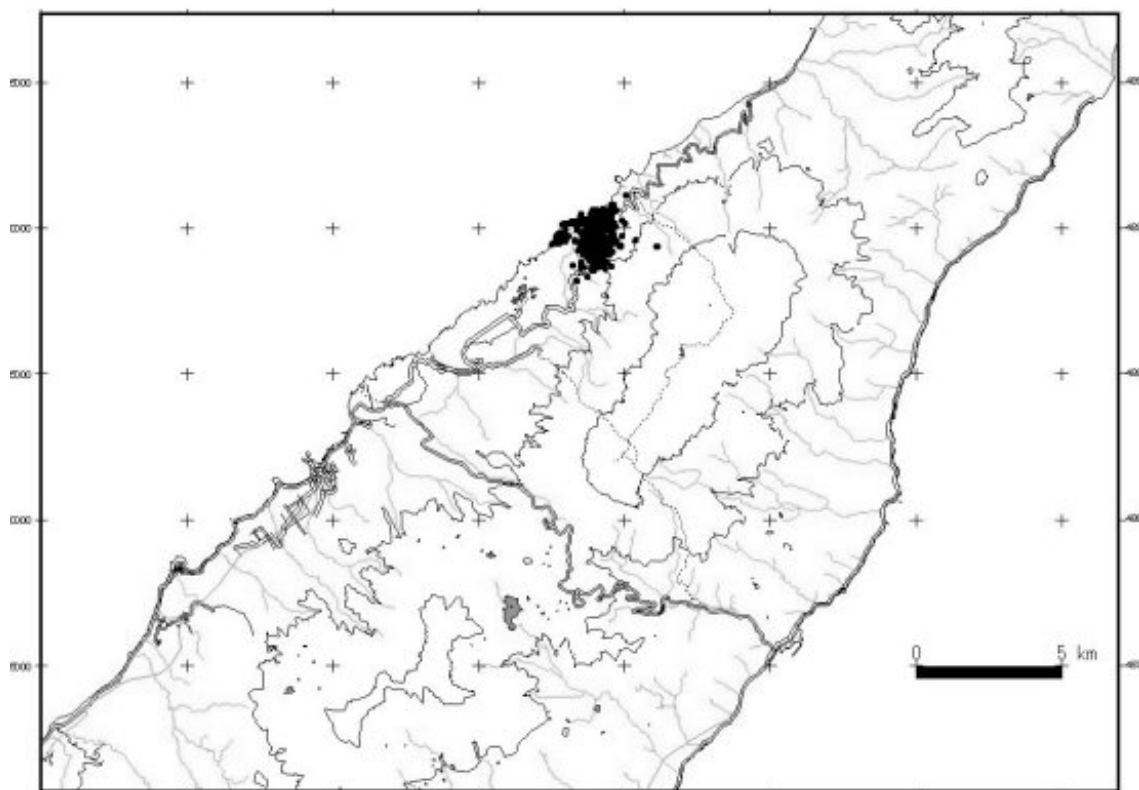


図 4. 06B17 (メス成獣、装着 9 ヶ月、故障で未回収).

資料： GPS 首輪を装着したヒグマの位置データ、2006-2008.

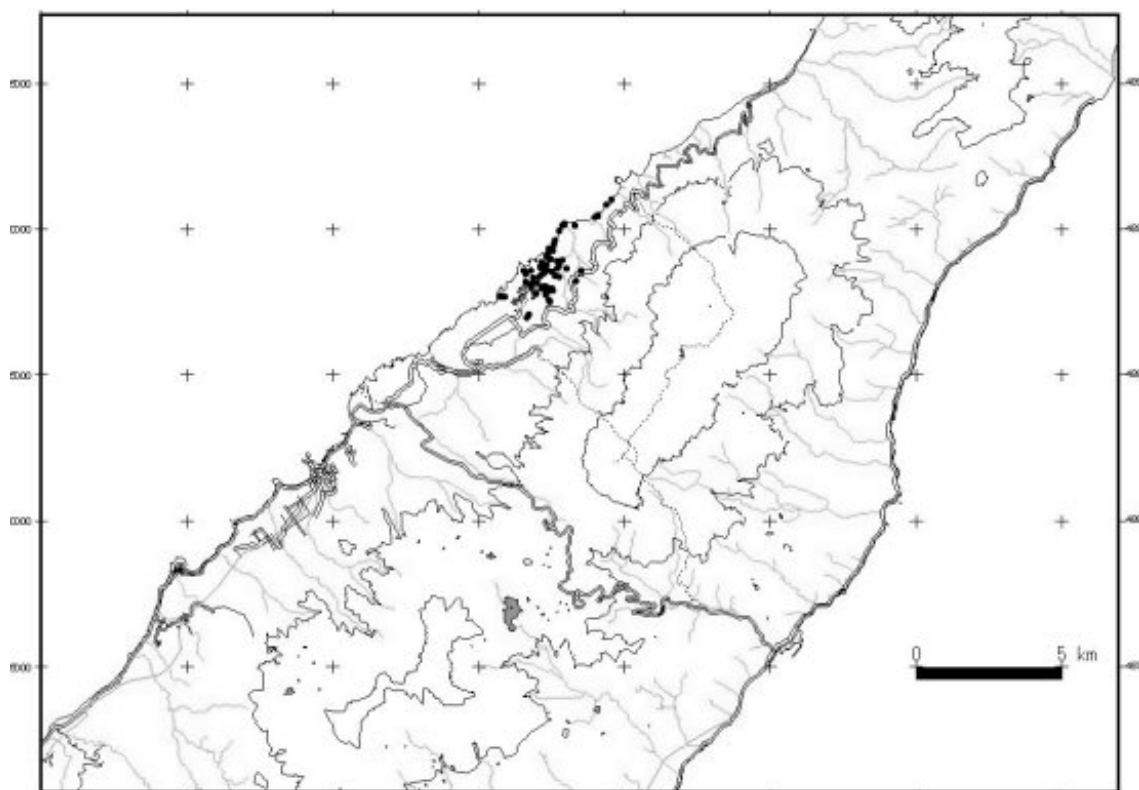


図 5. 06B18 (メス成獣、装着 1 ヶ月、故障で未回収).

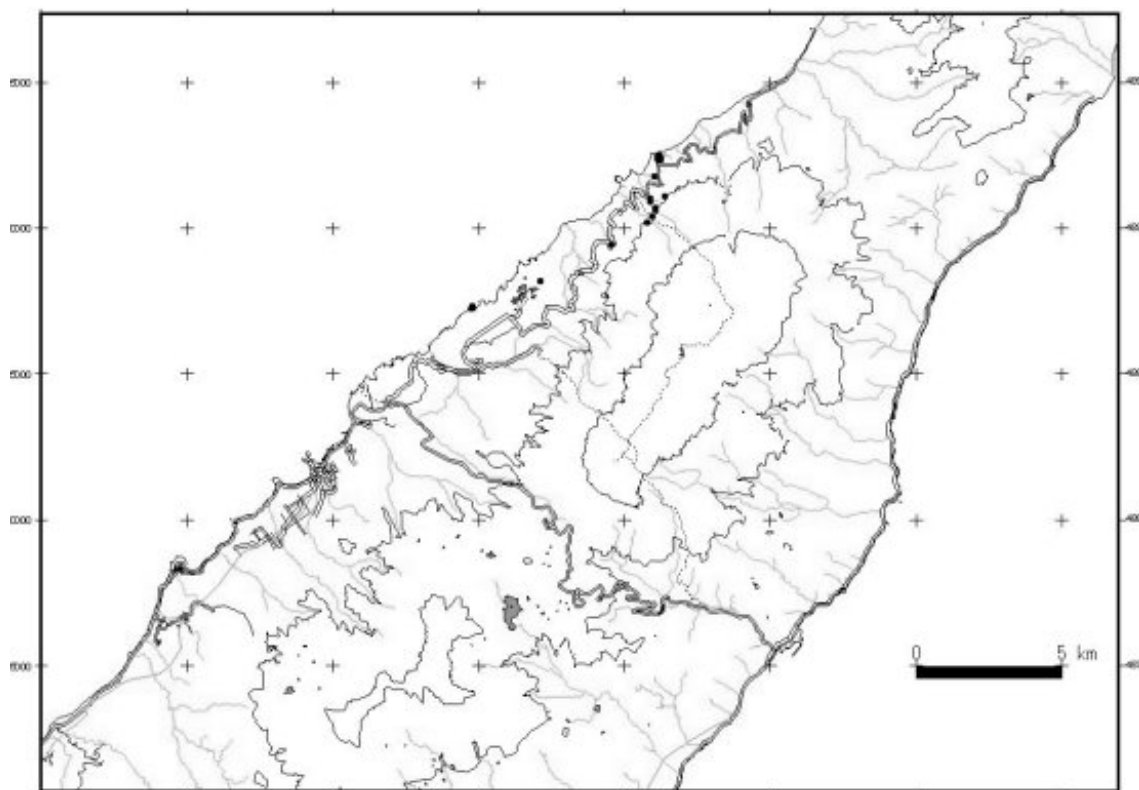


図 6. 06B19 (オス 2 才、装着 1 ヶ月、中途脱落で回収済み).

資料： GPS 首輪を装着したヒグマの位置データ、2006-2008.

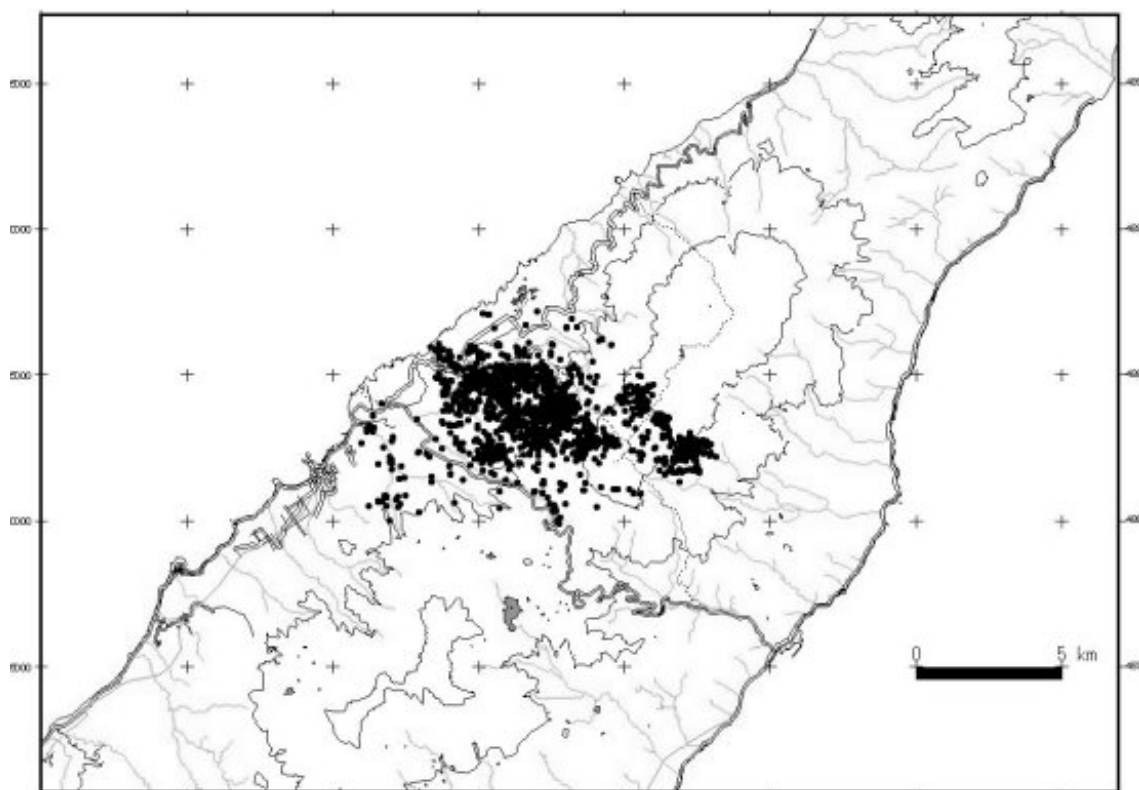


図 7. 07B02 (オス 3 - 5 才、装着 14 ヶ月、中途脱落で回収済み).

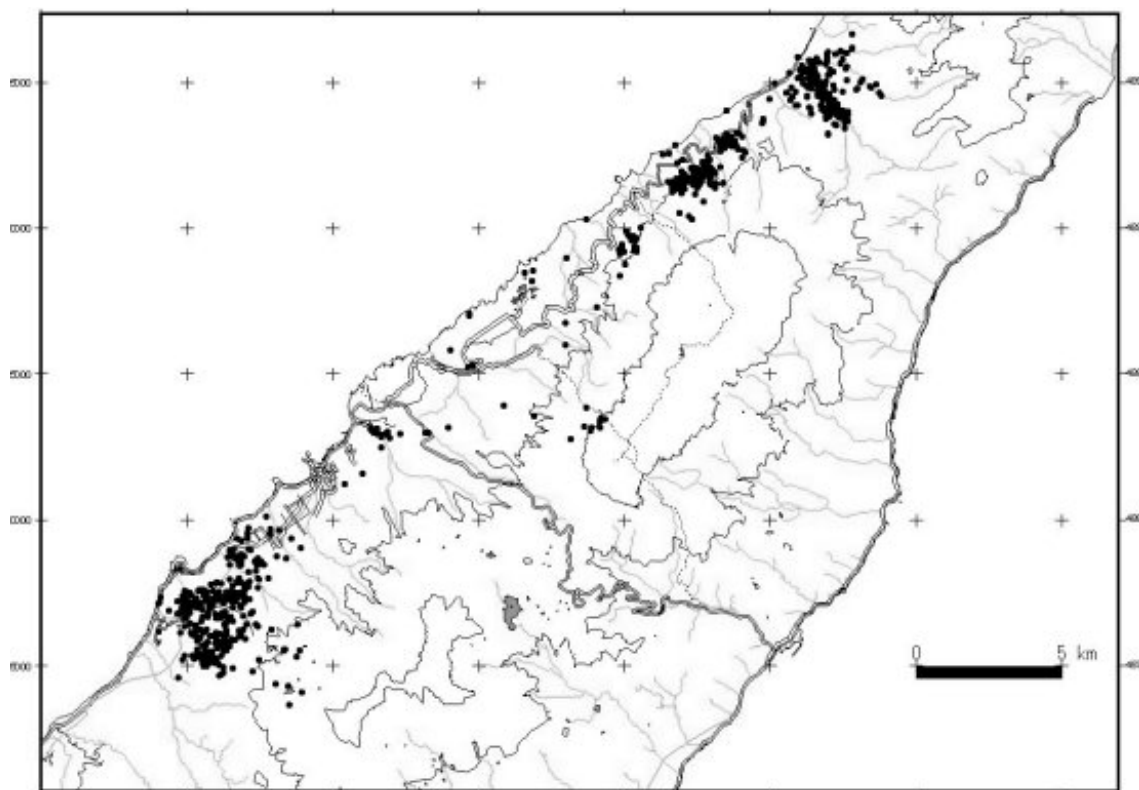


図 8. 07B07 (オス 3 - 5 才、装着 5 ヶ月、中途脱落で回収済み).

資料： GPS 首輪を装着したヒグマの位置データ、2006-2008.

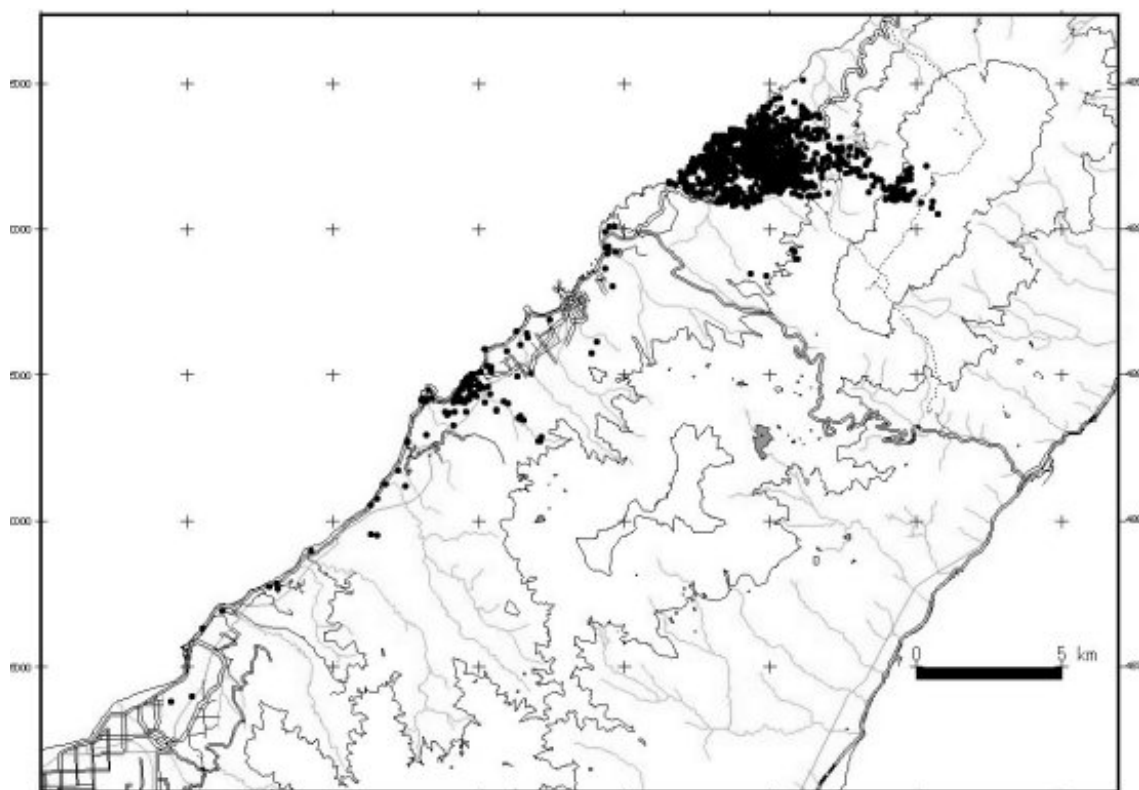


図 9. 07B08 (メス成獣、装着 13 ヶ月、中途脱落で回収済み).

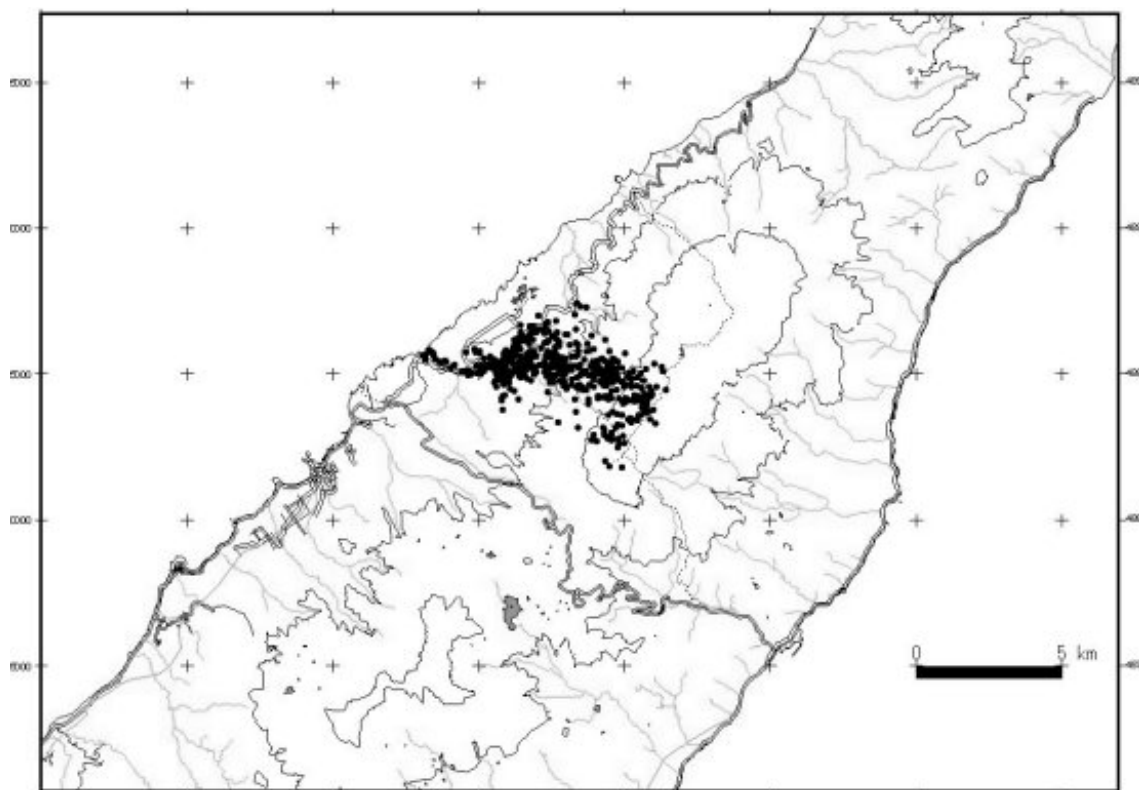


図 10. 07B17 (メス成獣、装着 9 ヶ月、自然死が疑われる、回収済み).

資料： GPS 首輪を装着したヒグマの位置データ、2006-2008.

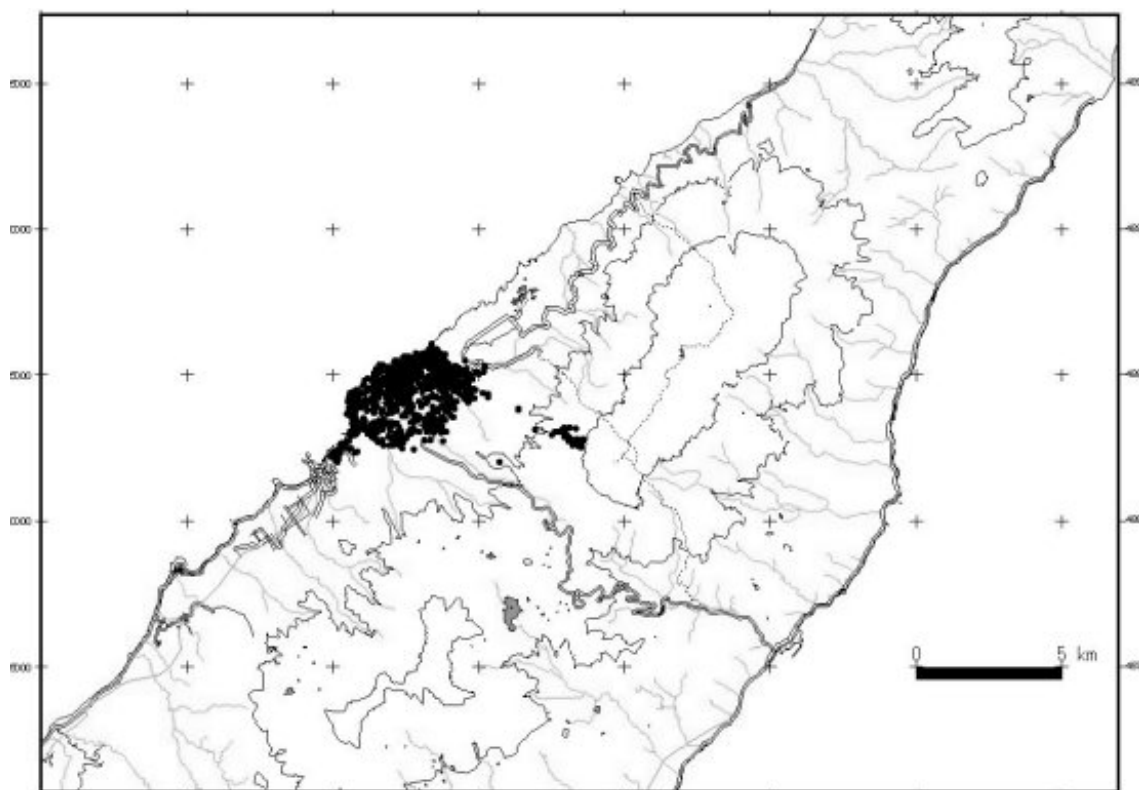


図 11. 08B03 (メス 3 - 5 才、装着 6 ヶ月、2008 年末で稼働中).

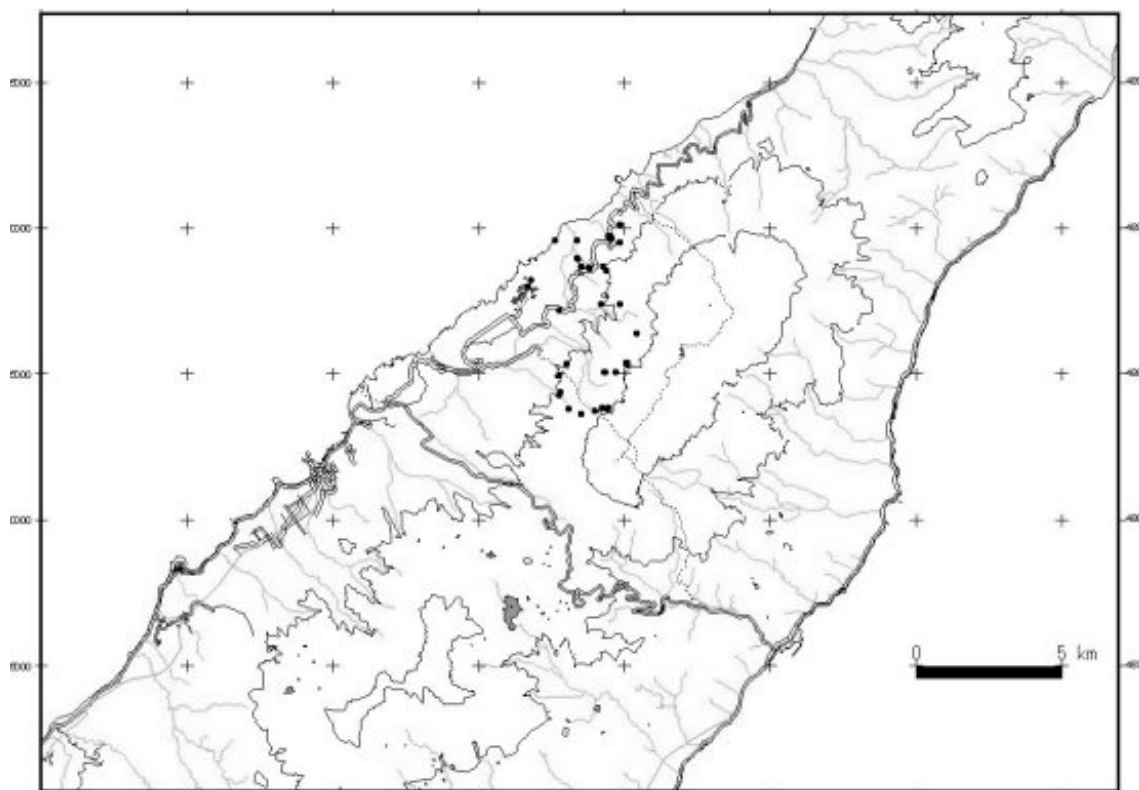


図 12. 08B04 (メス 3 才、装着 1 ヶ月、中途脱落、未回収).

資料： GPS 首輪を装着したヒグマの位置データ、2006-2008.

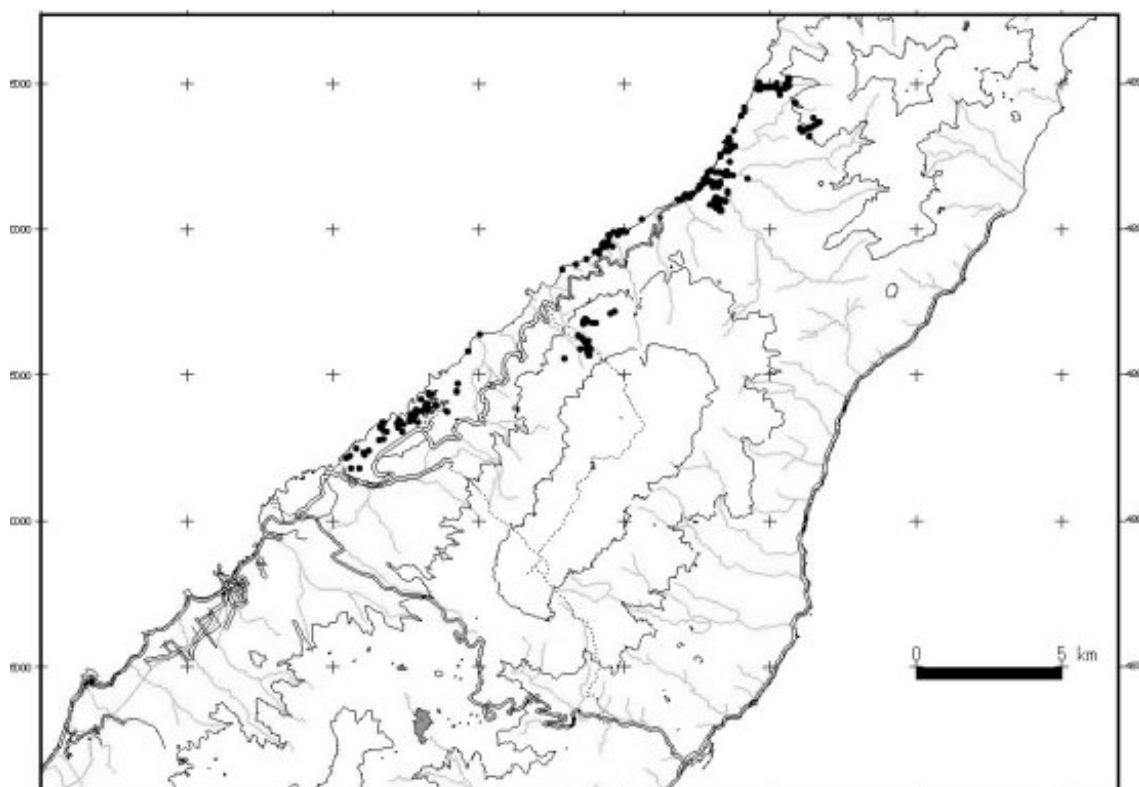


図 13. 08B08 (オス成獣、装着 2 ヶ月、中途脱落で回収).

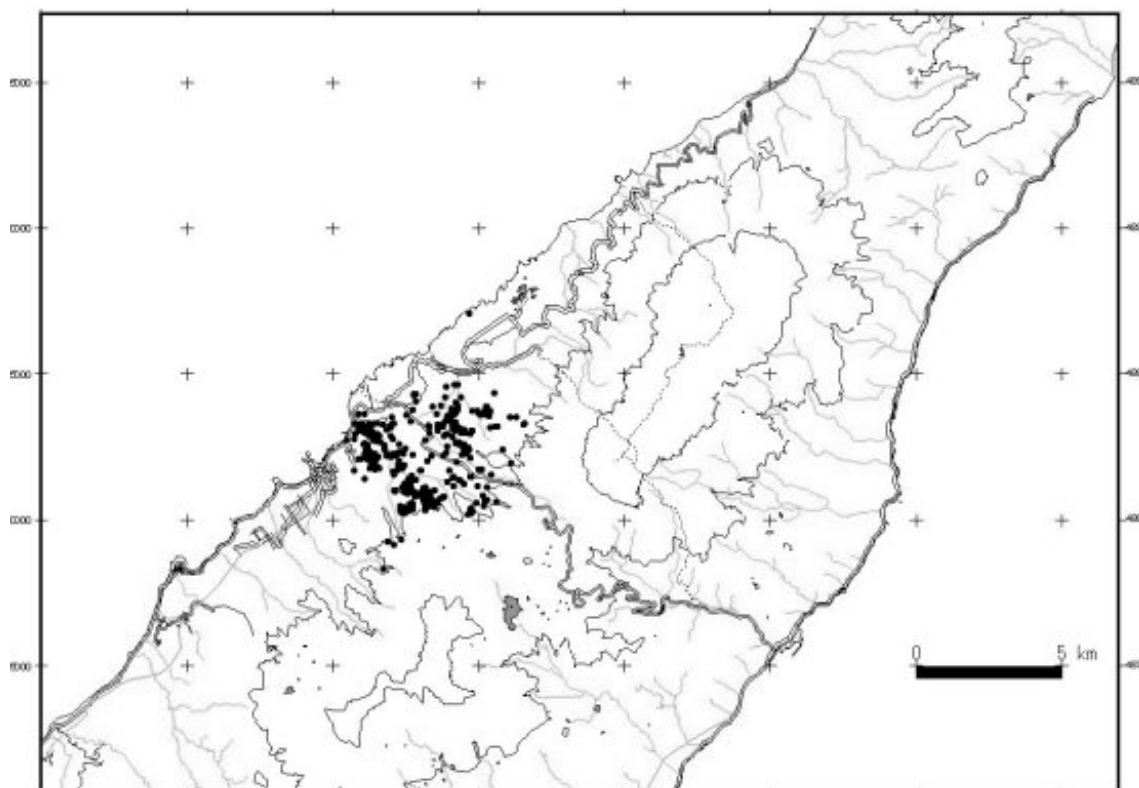


図 14. 08B13 (オス成獣、装着 4 ヶ月、2008 年末で稼働中).

資料： GPS 首輪を装着したヒグマの位置データ、2006-2008.

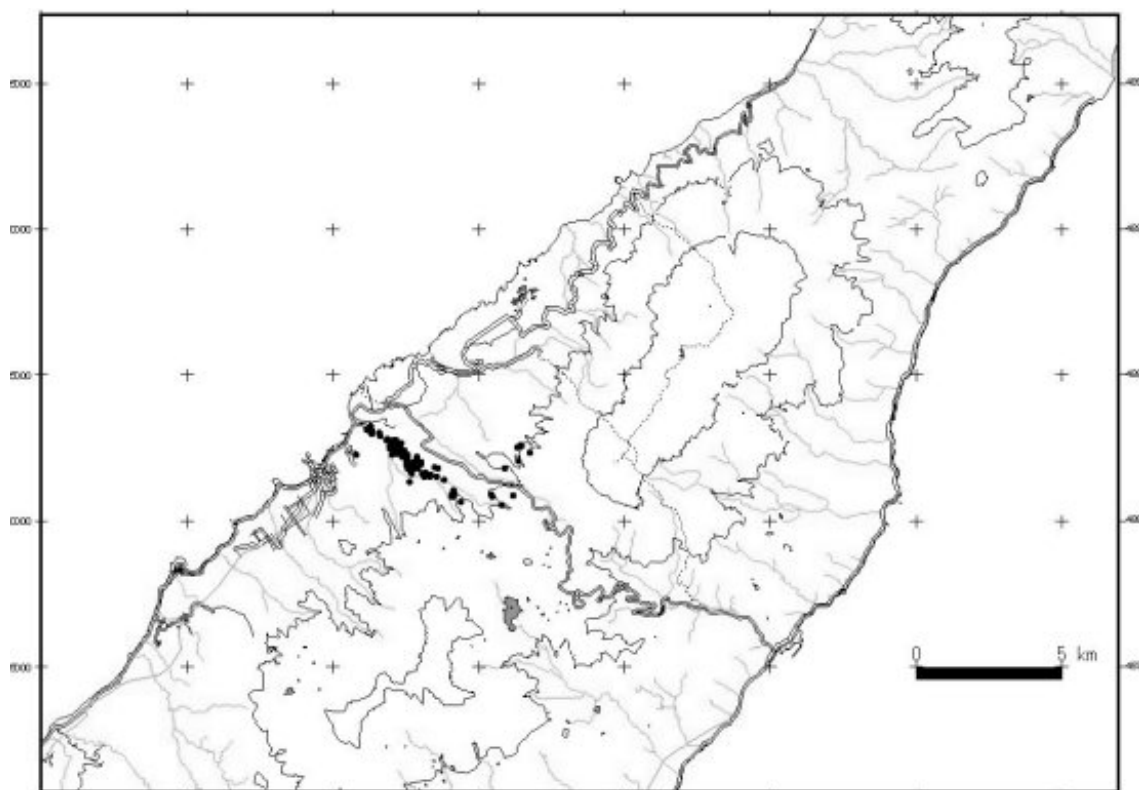


図 15. 08B14 (メス成獣、装着 3 ヶ月、2008 年末で稼働中).