

表 2 Probability of dog/cat from different sub-regions is infected (Ps,l)

Region	Sub-region	Mean probability (5 th and 95 th percentiles)		
Africa	Eastern Africa	9.33E-06	(8.13E-06, 1.06E-05)	
	Middle Africa	1.16E-04	(4.31E-05, 2.21E-04)	
	Northern Africa	9.46E-06	6.30E-06	1.33E-05
	Western Africa	2.54E-05	1.84E-05	3.35E-05
	Southern Africa	7.15E-06	5.25E-06	9.33E-06
Asia	Eastern Asia	4.74E-07	3.39E-07	6.33E-07
	Central Asia	1.00E-05	4.58E-06	1.76E-05
	Southern Asia	3.66E-06	2.74E-06	4.71E-06
	South-Eastern Asia	3.24E-06	2.74E-06	3.77E-06
	Western Asia	1.77E-05	1.28E-05	2.35E-05
Europe	Eastern Europe	3.73E-06	3.30E-06	4.19E-06
	Northern Europe	4.66E-07	2.41E-07	7.74E-07
	Southern Europe	6.36E-07	3.73E-07	9.73E-07
	Western Europe	1.45E-07	5.56E-08	2.72E-07
Latin America and Caribbean	Caribbean	1.60E-05	1.98E-06	4.39E-05
	Central America	7.84E-07	4.53E-07	1.21E-06
	South America	5.44E-07	3.84E-07	7.32E-07
North America	Northern America	2.05E-07	3.78E-08	5.10E-07
Oceania	Australia/New Zealand	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

表 3 Annual number of dogs and cats checked by AQS those shipped back or died during quarantine during 2010-2013

	Number checked		Number shipped back or died during quarantine	
	dog	cat	dog	cat
2010	7213	1761	14	6
2011	7269	1672	32	5
2012	7311	1806	6	1
2013	7160	1644	10	1

Note: Animals that were not shipped back or did not die during quarantine were all accompanied by vaccination and serological test certificates.

表 4 Total and maximum annual number of dog and cat entries to Japan through AQS between 2010 and 2013

Region	Sub-region	Total import	Max import
Africa	Eastern Africa	62	34
	Middle Africa	5	0
	Northern Africa	60	0
	Western Africa	43	43
	Southern Africa	32	32
Asia	Eastern Asia	9601	2979
	Central Asia	22	12
	Southern Asia	171	58
	South-Eastern Asia	2739	814
	Western Asia	187	83
Europe	Eastern Europe	889	303
	Northern Europe	964	621
	Southern Europe	426	148
	Western Europe	1985	563
Latin America and Caribbean	Caribbean	13	7
	Central America	124	43
	South America	281	101
North America	Northern America	16096	4846
Oceania	Australia/New Zealand	1614	512
	Melanesia	8	6
	Micronesia	162	64
	Polynesia	6	5
	Melanesia	8	6
Total		35490	11274

Source: Animal Quarantine Service

表 5 Total and maximum annual number of dog and cat entries to Japan through US Force between 2010 and 2013

Region	Sub-region	Total import	Max import
Africa	Eastern Africa	0	0
	Middle Africa	0	0
	Northern Africa	0	0
	Western Africa	0	0
	Southern Africa	1	1
Asia	Eastern Asia	91	32
	Central Asia	0	0
	Southern Asia	0	0
	South-Eastern Asia	21	7
	Western Asia	10	4
Europe	Eastern Europe	2	2
	Northern Europe	39	32
	Southern Europe	35	14
	Western Europe	86	96
Latin America and Caribbean	Caribbean	1	3
	Central America	7	6
	South America	0	0
North America	Northern America	4707	1462
Oceania	Australia/New Zealand	12	6
	Melanesia	0	0
	Micronesia	86	29
	Polynesia	0	0
Total		5098	1694

Source: Animal Quarantine Service

表 6. Annual probability of at least one infected dog/cat entering Japan, assuming 100% compliance

Region	Sub-region	Annual probability (5 th and 95 th percentiles)														
AQS	Africa	Eastern Africa	5.80E-07	1.45E-07	1.36E-06	3.00E-06	7.51E-07	7.02E-06	1.24E-05	3.14E-06	2.88E-05	1.65E-05	6.60E-06	3.33E-05		
		Middle Africa*	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00											
		Northern Africa*	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00											
		Western Africa	2.00E-06	4.97E-07	4.66E-06											
		Southern Africa	4.27E-07	1.06E-07	1.00E-06											
	Asia	Eastern Asia	2.51E-06	6.29E-07	5.89E-06	5.45E-06	1.36E-06	1.28E-05								
		Central Asia	2.08E-07	5.16E-08	4.90E-07											
		Southern Asia	3.76E-07	9.45E-08	8.81E-07											
		South-Eastern Asia	4.87E-06	1.21E-06	1.14E-05											
		Western Asia	2.39E-06	6.07E-07	5.55E-06											
	Europe	Eastern Europe	2.08E-06	5.21E-07	4.88E-06	2.41E-06	6.23E-07	5.60E-06								
		Northern Europe	1.80E-07	5.46E-08	3.98E-07											
		Southern Europe	1.23E-07	3.24E-08	2.85E-07											
		Western Europe	2.73E-08	8.79E-09	5.83E-08											
	Latin America and Caribbean	Caribbean	2.97E-08	5.73E-09	7.47E-08	1.74E-07	4.91E-08	3.91E-07								
		Central America	5.73E-08	1.44E-08	1.34E-07											
		South America	8.72E-08	2.23E-08	2.04E-07											
North America	Northern America	1.32E-06	3.19E-07	3.16E-06	1.32E-06	3.19E-07	3.16E-06									
Oceania	Australia/New Zealand**	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00									
US Force	Africa	Eastern Africa*	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.85E-08	5.29E-08	8.57E-08	4.09E-06	1.85E-06	7.47E-06					
		Middle Africa*	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00											
		Northern Africa*	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00											
		Western Africa*	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00											
		Southern Africa	6.85E-08	5.29E-08	8.57E-08											
	Asia	Eastern Asia	1.45E-07	1.10E-07	1.85E-07	2.17E-07	1.89E-07	2.47E-07								
		Central Asia*	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00											
		Southern Asia*	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00											
		South-Eastern Asia	2.17E-07	1.89E-07	2.47E-07											
		Western Asia	6.80E-07	5.19E-07	8.60E-07											
	Europe	Eastern Europe	7.15E-08	6.45E-08	7.89E-08	4.33E-07	3.28E-07	5.55E-07								
		Northern Europe	1.43E-07	8.26E-08	2.17E-07											
		Southern Europe	8.54E-08	5.43E-08	1.22E-07											
		Western Europe	1.33E-07	6.02E-08	2.29E-07											
	Latin America and Caribbean	Caribbean	4.60E-07	8.19E-08	1.10E-06	5.05E-07	1.26E-07	1.14E-06								
		Central America	4.51E-08	2.84E-08	6.48E-08											
		South America*	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00											
North America	Northern America	2.87E-06	7.16E-07	6.19E-06	2.87E-06	7.16E-07	6.19E-06									
Oceania	Australia/New Zealand**	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00									

*: There was no import of dogs or cats from these countries. **: Rabies prevalence was assumed to be zero for these countries.

表 7 Predicted number of years between rabies entry to Japan, assuming 100% compliance

	Region	Sub-region	Number of years between rabies entry (5 th and 95 th percentiles)											
AQS	Africa	Eastern Africa	2.73E+06	7.36E+05	6.89E+06	5.29E+05	1.43E+05	1.33E+06	1.27E+05	3.47E+04	3.18E+05	7.73E+04	3.01E+04	1.51E+05
		Middle Africa*	#N/A	#N/A	#N/A									
		Northern Africa*	#N/A	#N/A	#N/A									
		Western Africa	7.97E+05	2.14E+05	2.01E+06									
		Southern Africa	3.73E+06	9.98E+05	9.41E+06									
	Asia	Eastern Asia	6.32E+05	1.70E+05	1.59E+06	2.91E+05	7.83E+04	7.35E+05						
		Central Asia	7.67E+06	2.04E+06	1.94E+07									
		Southern Asia	4.21E+06	1.13E+06	1.06E+07									
		South-Eastern Asia	3.26E+05	8.76E+04	8.23E+05									
		Western Asia	6.60E+05	1.80E+05	1.65E+06									
	Europe	Eastern Europe	7.62E+05	2.05E+05	1.92E+06	6.46E+05	1.79E+05	1.60E+06						
		Northern Europe	7.99E+06	2.51E+06	1.83E+07									
		Southern Europe	1.26E+07	3.51E+06	3.09E+07									
		Western Europe	5.10E+07	1.71E+07	1.14E+08									
Latin America and Caribbean	Caribbean	6.31E+07	1.34E+07	1.75E+08	8.57E+06	2.56E+06	2.04E+07							
	Central America	2.77E+07	7.48E+06	6.96E+07										
	South America	1.80E+07	4.91E+06	4.49E+07										
North America	Northern America	1.23E+06	3.16E+05	3.14E+06	1.23E+06	3.16E+05	3.14E+06							
Oceania	Australia/New Zealand**	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A							
US Force	Africa	Eastern Africa*	#N/A	#N/A	#N/A	1.49E+07	1.17E+07	1.89E+07	2.92E+05	1.34E+05	5.40E+05			
		Middle Africa*	#N/A	#N/A	#N/A									
		Northern Africa*	#N/A	#N/A	#N/A									
		Western Africa*	#N/A	#N/A	#N/A									
		Southern Africa	1.49E+07	1.17E+07	1.89E+07									
	Asia	Eastern Asia	7.05E+06	5.40E+06	9.12E+06	4.63E+06	4.05E+06	5.28E+06						
		Central Asia*	#N/A	#N/A	#N/A									
		Southern Asia*	#N/A	#N/A	#N/A									
		South-Eastern Asia	4.63E+06	4.05E+06	5.28E+06									
		Western Asia	1.51E+06	1.16E+06	1.93E+06									
	Europe	Eastern Europe	1.40E+07	1.27E+07	1.55E+07	2.37E+06	1.80E+06	3.05E+06						
		Northern Europe	7.63E+06	4.62E+06	1.21E+07									
		Southern Europe	1.24E+07	8.22E+06	1.84E+07									
		Western Europe	8.89E+06	4.37E+06	1.66E+07									
	Latin America and Caribbean	Caribbean	4.35E+06	9.12E+05	1.22E+07	3.08E+06	8.76E+05	7.91E+06						
		Central America	2.36E+07	1.54E+07	3.52E+07									
		South America*	#N/A	#N/A	#N/A									
	North America	Northern America	5.50E+05	1.61E+05	1.40E+06	5.50E+05	1.61E+05	1.40E+06						
	Oceania	Australia/New Zealand**	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A						

*: There was no import of dogs or cats from these countries. **: Rabies prevalence was assumed to be zero for these countries.

表 8 The probability of single infected dog or cat entering Japan, assuming 100% compliance

	Region	Sub-region	Probability (5 th and 95 th percentiles)			Probability (5 th and 95 th percentiles)			Probability (5 th and 95 th percentiles)			Probability (5 th and 95 th percentiles)			
AQS	Africa	Eastern Africa	1.71E-08	4.27E-09	4.00E-08	2.76E-08	4.48E-09	4.48E-09	1.53E-09	1.79E-11	6.95E-09	1.76E-09	2.54E-11	6.45E-09	
		Middle Africa*	1.60E-07	4.08E-08	3.75E-07										
		Northern Africa*	1.63E-08	4.08E-09	3.81E-08										
		Western Africa	4.64E-08	1.16E-08	1.08E-07										
		Southern Africa	1.33E-08	3.32E-09	3.13E-08										
	Asia	Eastern Asia	8.42E-10	2.11E-10	1.98E-09	2.61E-09	2.35E-10	2.35E-10							
		Central Asia	1.73E-08	4.30E-09	4.08E-08										
		Southern Asia	6.49E-09	1.63E-09	1.52E-08										
		South-Eastern Asia	5.98E-09	1.49E-09	1.40E-08										
		Western Asia	2.87E-08	7.31E-09	6.69E-08										
	Europe	Eastern Europe	6.88E-09	1.72E-09	1.61E-08	1.48E-09	2.25E-11	2.25E-11							
		Northern Europe	2.90E-10	8.79E-11	6.40E-10										
		Southern Europe	8.32E-10	2.19E-10	1.93E-09										
		Western Europe	4.85E-11	1.56E-11	1.04E-10										
	Latin America and Caribbean	Caribbean	4.24E-09	8.18E-10	1.07E-08	1.15E-09	2.45E-10	2.45E-10							
		Central America	1.33E-09	3.34E-10	3.11E-09										
		South America	8.64E-10	2.21E-10	2.02E-09										
	North America	Northern America	2.73E-10	6.58E-11	6.53E-10	2.73E-10	6.58E-11	6.58E-11							
	Oceania	Australia/New Zealand**	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00							
	US Force	Africa	Eastern Africa*	8.94E-08	7.97E-08	9.98E-08	6.85E-08	5.29E-08	5.29E-08	2.98E-09	4.96E-10	5.01E-09			
Middle Africa*			1.11E-06	4.95E-07	1.92E-06										
Northern Africa*			9.06E-08	6.41E-08	1.21E-07										
Western Africa*			2.44E-07	1.86E-07	3.09E-07										
Southern Africa			6.85E-08	5.29E-08	8.57E-08										
Asia		Eastern Asia	4.54E-09	3.43E-09	5.79E-09	2.42E-08	3.52E-09	3.52E-09							
		Central Asia*	9.63E-08	5.01E-08	1.55E-07										
		Southern Asia*	3.51E-08	2.75E-08	4.35E-08										
		South-Eastern Asia	3.10E-08	2.71E-08	3.52E-08										
		Western Asia	1.70E-07	1.30E-07	2.15E-07										
Europe		Eastern Europe	3.58E-08	3.22E-08	3.95E-08	3.00E-09	6.94E-10	6.94E-10							
		Northern Europe	4.46E-09	2.58E-09	6.77E-09										
		Southern Europe	6.10E-09	3.88E-09	8.68E-09										
		Western Europe	1.39E-09	6.27E-10	2.38E-09										
Latin America and Caribbean		Caribbean	1.53E-07	2.73E-08	3.65E-07	5.64E-08	5.02E-09	5.02E-09							
		Central America	7.51E-09	4.73E-09	1.08E-08										
		South America*	5.22E-09	3.90E-09	6.67E-09										
North America		Northern America	1.96E-09	4.90E-10	4.24E-09	1.96E-09	4.90E-10	4.90E-10							
Oceania		Australia/New Zealand**	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00							

*: There was no import of dogs or cats from these countries. **: Rabies prevalence was assumed to be zero for these countries.

厚生労働省科学研究費補助金（新型インフルエンザ等新興・再興感染症研究事業）
分担研究報告書

分担課題：我が国における狂犬病拡散リスクの評価に関する調査研究

研究分担者 蒔田浩平 酪農学園大学大学院獣医学研究科 獣医疫学准教授
研究協力者 唐仁原景昭 NPO 法人いきいき畜産ちばサポートセンター
門脇 弾 酪農学園大学大学院獣医学研究科

研究要旨 狂犬病清浄国である我が国における適切な狂犬病対策の検討のため、本分担研究班では我が国に狂犬病が侵入した際の拡散リスクを、数理モデルを用いて評価した。数理モデルは犬個体の発症、移動、次世代感染個体の発症を連鎖的に作出し、空間的に表現する推計学的空間感染モデルとした。モデルは国内の狂犬病拡散リスクを総合的に勘案し、北海道と茨城県を選定した。狂犬病を考える上で必要な地理学的、人口学的情報、ワクチン接種率等を収集し、モデルに反映させた。また感染症学的パラメータの推定には、過去の大阪での発生情報をもとに基礎再生産数 (R_0) を算出し、また近年のバリ島での発症犬の移動および新規発症犬の発生様式から作出された距離カーネルと人口密度に依存した地理学的発生確率を調整するそれぞれのパラメータについて最尤推定法を用いて推定した。作出された数理モデルによる推定では、北海道でワクチン接種率が 55%、45%、35% の場合の狂犬病総発生数はそれぞれ中央値が 2 頭、4 頭、354 頭であった。また、終息までの期間は中央値がそれぞれ 53.5 日、92.5 日、339.5 日であった。茨城県ではワクチン接種率が 55.6%、45.6%、35.6% の場合の狂犬病総発生数はそれぞれ中央値が 2 頭、3 頭、389 頭であった。また、終息までの期間は中央値がそれぞれ 35 日、89.5 日、397.5 日であった。

来年度はさらに現実に則したモデルの改善を行い、経済評価も含めた結果をもとにリスクコミュニケーションを実施する。

A. 研究目的

我が国における狂犬病対策の検討には、二段階のリスク評価が必要である。それらはすなわち、海外の狂犬病発生国からの感染動物の侵入と、侵入した場合の拡散についてである。本研究ではリスクを考える上で最も重要な犬のみを扱うこととし、本分担研究班では上記二段階のうち、狂犬病感染犬が我が国内に上陸し、検疫で摘発され

ずに、または一つの仮定として検疫を通らずに市中に侵入し、そこで狂犬病を発生した場合に、飼育犬および放浪犬に感染拡大させるリスクを評価することを目的とする。

我が国に狂犬病が発生した場合の拡散リスクを考える上で焦点となるのは、1950 年代に狂犬病が市中に蔓延している中でその撲滅を目的として施行された狂犬病予防

法の妥当性である。

現代は狂犬病が流行していた当時と比べて社会情勢の変化により人と動物の関係が変化し、飼育犬が徘徊しているような状況は一部の村落部を除いて見られず、屋内飼育も増加し、狂犬病発生時に拡散しにくい状況であることも考えられる。また一方で1957年の狂犬病撲滅達成以降飼い主の危機意識は低下していると考えられ、ワクチン接種率も有効集団免疫の閾値を下回るほど低下している。

本分担研究班では発生拡大リスクの観点から、上記の現状も考慮しながら数理モデルを用いてコンピュータ上で発生拡大を再現し、現在の狂犬病対策の有効性を検討するとともに、発生時に適応される対策のうちどれが有効か、また経済的に優れているか検証する。数理モデルには、地理的特性を考慮するため過去の我が国の発生例からパラメータを導き用いる。

研究開始から2年目の今年度は、過去の狂犬病発生例から更なる疫学的パラメータを推定し、狂犬病感染症モデルでは世界で最も先進的であるグラスゴー大学と共同で狂犬病拡散モデルの基礎を構築した。さらに、モデル対象地域の状況を調査し、本研究の目的に適した独自のモデルを作成した。

B. 研究方法

1. 狂犬病拡散モデルフレームの構築

2014年7月4日から20日にかけてグラスゴー大学に Sarah Cleveland 教授と Katie Hampson を訪れ、過去の狂犬病発生情報を解析し、狂犬病拡散モデルの基礎を構築した。本モデルは、バリ島の狂犬病研究

で Dr. Sunny Townsend により作成された Individual based model を参考に構築した。モデルは 1km ごとに北緯統計量軸に沿ってグリッドを走らせ、これによって仕切られた「セル」を固有の地理的代表的地点とする空間数理モデルである。各セルには、人口密度や犬のワクチン接種率など、実際モデル化する地域の市町村情報が付与されている。

狂犬病発生拡大様式の再現方法は以下のとおりである。まず n 次症例（犬）の発生であるが、各 $n-1$ 次症例が発生すると、それぞれ基本再生産数 R_0 を平均とした負の二項分布に基づいて非感染犬を咬み狂犬病ウイルスに感染させる。咬傷から感染、発症への各段階はモデル化せず、その代わりに一次症例から二次症例発生までの時間（世代間隔）を用いて $n-1$ 次症例の発生から n 次症例発生までの時間をモデル化する。この世代間隔には指数関数を用いる。

次に n 次症例の地理的分布の決定方法である。基礎モデルでは上記各セルについて、他の全てのセルからの距離を予め計算した行列を作成しておき、 $n-1$ 次症例が発生すると、その行列を参照して発生地点から全てのセルの情報をを用い、過去の事例から確率論的に移動距離をモデル化した距離カーネルに従って各セルの選択確率の高さを表現した。さらに人口密度の高い地域がより高い確率で選択されるようモデル化し、最も高い確率を示したセルを採択し、 n 次症例の発生場所とする方法を取った。

また2015年1月24日から2月2日に再度グラスゴー大学を訪問し、帰国後改良したモデルについて検討した。

2. 我が国のモデルに必要な情報収集

2. 1. モデル対象地域の情報収集

表1にモデル地域対象選定で考慮した因子を挙げる。北海道と茨城県の行政区画に関する情報は国土交通省国土数値情報ダウンロードサービスより収集を行った。市町村毎の人口については両道県庁ホームページにより公開されている情報を用いた。

両道県の市町村毎の登録犬頭数とワクチン接種率ならびに収容及び捕獲犬頭数については両道県を訪問して情報を収集した。真の飼育頭数およびワクチン接種率推定にはペットフード協会のインターネット調査結果を参考にした。

2. 2. モデル対象自治体における狂犬病対策に関する情報収集

狂犬病発生時の対策実施要領は厚生労働省ホームページより収集した。また北海道庁と茨城県庁への訪問調査から狂犬病発生時の緊急対策実施要領について情報収集した。

稚内市は狂犬病発生国であるロシアからの漁船が出入りする北海道の港のひとつであり、以前からロシア船からの犬の不法上陸が狂犬病侵入に関して問題となっていたことから、狂犬病侵入に対する最前線とも言える稚内保健所を訪問し、狂犬病予防対策実施状況について直接稚内保健所を訪れその状況を調査した。

3. 数理モデルによる拡散リスク評価

3. 1. 過去の狂犬病発生情報を用いた疫学的パラメータ推定

モデル構築に必要なパラメータ推定には、1914年から1933年までの大阪府での狂犬病発生例を用いた。当時の人口につい

ては1920年の国政調査結果を用いた。世代間隔については前年度に推定が行われているので、今年度は①基本再生産数と、新規発症犬(n 次症例)が発生する地理的条件に関する二つのパラメータ：②一世代前の発症犬($n-1$ 次症例)からの距離ならびに③人口密度に関するパラメータの推定を実施した。

3. 1. 1. 基本再生産数の推定

基本再生産数は、感受性個体の集団において一次感染者が生み出す二次感染者数の平均として定義され、疾病の感染力の強さを示す。また感染症コントロールで非常に重要である集団免疫割合はこの基本再生産数から推定するので重要な指標である。

基本再生産数の推定は、二回にわたる大阪府での大規模発生の情報を用い、前年度に推定した世代間隔(G_t)と発症犬の成長率(増殖する速度)を用いて実施した。

$$R_0 = 1 / \sum_{t=0}^{\infty} G_t \lambda^{-t}$$

G_t : 世代間隔

λ : 成長率

3. 1. 2. 新規症例が発生する地理的条件に関するパラメータの推定

第 n 次症例の新発生位置は、第 $n-1$ 次症例からの距離に依存するはずであり、また犬が密集した地域においては発症犬による咬傷が起こりやすいのは当然想定されるため、妥当な仮説として考える。

まず $n-1$ 次症例発生地点から n 次症例発生地点までの距離であるが、距離依存性の多くの感染症で用いられる距離カーネルの概念を用い、一定の定数(パラメータ)で

この距離が規定されると仮定した。この計算は、大阪での距離カーネル (dK_{Osaka}) は Sunny Townsend らが用いた分布 (dK_{Bali}) に比例するとし、 α を解くこととした。

$$dK_{Osaka} = \alpha \times dK_{Bali}$$

本シミュレーションに用いた狂犬病発生時の大阪では、正確な飼育頭数が分からない。そこで人は一定の割合(確率)で犬を飼育し、犬の密度は人口密度 (D_H) に比例すると仮定し、かつ $n-1$ 次症例からの距離カーネル ($dK_{Bali\ n-1}$) と同時に人口密度によっても任意のセル i における n 次症例が発生する確率 (P_{ni}) は規定されると仮定した。

$$P_{ni} = \frac{\alpha \times dK_{Bali\ n-1} + \beta \times D_{Hi}}{\sum (\alpha \times dK_{Bali\ n-1} + \beta \times D_{Hi})}$$

この推計確率に基づき、モデルは最も高い確率を示したセルに n 次症例を発生させた場合、過去の大阪での発生様式と最も近くなるように最尤推定法を用いて α と β を推定した。

推定結果の妥当性の検証には、カイ二乗検定を行い、シミュレーションによる大阪府の各市町村の発生数と実際の大阪府の各市町村の発生数に差がないことを確認した。

3. 2. 我が国の狂犬病拡散モデルによるリスク評価

3. 2. 1. モデル化地域の選択

狂犬病の拡散モデルを構築するにあたり、日本全国のデータを用いてモデル化を実施するのはデータ量、作業量、またコンピュータへの負荷・時間の点で困難である。そこで狂犬病拡散に関わるリスク因子を列挙し、ランク付けを行うことでモデル化対象地域北海道と茨城県を 47 都道府県から選択した。

3. 2. 2. 狂犬病拡散リスク評価

調査地域として選択された北海道と茨城県で狂犬病が侵入した際の発生拡大シミュレーションを行った。コンピュータへの負荷が大きく処理に長時間かかるため、モデル化調査は札幌市近郊と水戸市近郊に限局してシミュレーションを実施した。

人口密度とワクチン接種率は、市町村ごとのデータを用い、不均一性を表現した。シミュレーションは両道県についてそれぞれ 500 回行い、シミュレーション毎に第一症例が発生する位置はランダムに選択した。また、ワクチン接種の効果を検証するため、市町村毎のワクチン接種率の不均一性を保ったまま全体のワクチン接種率を 10% と 20% 低くし、それぞれ同様に 500 回のシミュレーションを行った。

C. 結果

1. モデル化地域の選択

モデル化対象地域として北海道と茨城県を選択したが、根拠となる統計を紹介する(表 2)。社会学的因子に関して、北海道は人口密度が全国で最も低かった(70.6 人/km²)。世帯当たり飼育頭数は全国平均より少し低く(0.11 頭/世帯)、室外に犬を出す

機会のある飼主は全国平均よりも低かった(66.7%)。放浪犬数は全国平均よりも多く(1211頭)、ワクチン接種率は全国平均よりも低かった(73.1%)。次に地理学的因子に関して、北海道は単位面積当たりの川の長さが短く(0.002km/ha)、森林率が高かった(70.7%)。

一方で、茨城県は人口密度が高く(500.4人/km²)、世帯当たりの飼育頭数は多かった(0.16頭/世帯)。室外に犬を出す機会のある飼主は全国平均よりも高かった(76.1%)。放浪犬の数は全国平均よりも多く(2048頭)、ワクチン接種率は全国平均よりも低かった(67.6%)だった。続いて地理学的因子に関して、単位面積あたりの川の長さが短く(0.0038km/ha)、森林率が低かった(30.8%)。

両県とも人口がある程度大きな都市を持ち、放浪犬の存在や隣国からの船舶による侵入リスクなどを総合的に勘案し、異なる二つの状況でのシミュレーションをするには妥当と考えられたため選択した。

2. 我が国のモデルに必要な情報収集

2. 1. モデル対象地域のワクチン接種率

平成25年度現在で、北海道庁が報告する登録犬頭数は278,085頭、うちワクチン接種を受けた犬の数は198,858頭であり、ワクチン接種率は71.5%である。一方茨城県庁が報告する登録犬頭数は183,820頭、うちワクチン接種率を受けた犬の数は120,428頭であり、ワクチン接種率は65.5%である。両道県では市町村毎にワクチン接種率が異なり、これを地図上に表現すると図1、図2のとおり地理学的不均一性が観察される。さらに日本ペットフード

協会のインターネット調査結果によると、犬の役所への届出・登録率は北海道で80.8%、北関東で79.0%であり、真の予防接種率は北海道で57.8%、茨城県で51.8%であると推定された。

2. 2. モデル化選定地域地方自治体の抱える狂犬病対策の課題

北海道は緊急時の狂犬病予防対策について、厚生労働省による狂犬病ガイドライン2001及び狂犬病ガイドライン2013を基に狂犬病対策要領を作成しており、狂犬病疑い症例の判断と環境・疫学調査及び被害拡大防止対策についてその基準と範囲を定めている。

稚内市では、消防署、警察、海上保安庁、地方自治体や保健所などが連携して対応に当たれるよう外国犬不法上陸防止対策連絡会議を毎年実施している。稚内の港には動物検疫所がないため、各機関が対策にあたらなければならないことが背景にあった。そのため、その他の自治体と比べ狂犬病に対する意識が高いと思われた。

不法上陸犬による咬傷事故への対応について、不法上陸犬による人の咬傷事故発生時保健所への通報後病院での診断と当該犬の捕獲・抑留が指示されるが、不法上陸犬による犬の咬傷事故発生時について対応はマニュアル化されていなかった。狂犬病感染疑い犬の抑留について、稚内保健所では個別房はなく最大で2,3頭の犬が収容可能である程度の施設整備しかされていない。ロシアの漁船の全てが犬を連れているわけではなく、またロシアからの漁船の数が減少していることと船員のマナー向上により、稚内港での不法上陸犬の数と咬傷事故は

年々減少している。稚内市の港には不法上陸犬の侵入防止のためのフェンスが設置されているが、いくつか隙間が存在しており、度々不法上陸犬がフェンスを越えていることが確認されている。また狂犬病予防対策に関連して、稚内市では畜犬登録とワクチン接種の有無に関して全戸調査を行っていたことがあり、その調査結果の報告書を得ることができた。

茨城県の狂犬病予防対策に関して、茨城県では昭和 54 年に茨城県動物指導センターを開設し、狂犬病予防法・動物保護管理法関係業務を一本化している。このため茨城県内の保健所では、狂犬病業務は分掌から外れている。野犬・放浪犬対策に関しても茨城県動物指導センター職員 10 名で行われており、県内を 5 地区に分け、一週間に二回、全地区の野犬対策や放し飼いの指導等の苦情処理を実施していた。茨城県動物指導センターでは、最大 100 頭ほど犬の保護が可能であり、個別房については 27 房であった。狂犬病発生時の対応については、この茨城県動物指導センター職員が中心となり、厚生労働省による狂犬病ガイドラインに準拠して行われるとのことであった。

3. 狂犬病拡散リスク評価

3. 1. 過去の狂犬病発生情報を用いた疫学的パラメータ推定

過去の大阪府における狂犬病大規模発生時の R_0 は 1 回目の発生（大正 3-4 年）では 2.8 であり、この時、感染拡大阻止に必要なワクチン接種率は、64.3%であった。また 2 回目の発生（大正 15 年から昭和 4 年）では R_0 は 1.4 であり、必要ワクチン接種率は 28.6%であった。なお、1 回目の

発生では 2 回目の発生時とは異なり殆どワクチン接種が行われていないことから、狂犬病拡散モデルのパラメータには 1 回目の発生における R_0 を用いた。

$n-1$ 次症例が発生したセルに基づいて n 次症例発症位置を決める距離カーネルの調整パラメータ α と人口密度依存性パラメータ β は、それぞれ 2.28 と 2.24 であった。またカイ二乗検定による妥当性の検定では、シミュレーションの発生数と実際の大阪府における発生数に有意な差は認められなかった ($p = 0.997$)。

3. 2. 狂犬病拡散モデルによる狂犬病発生数の推定

表 3 に狂犬病拡散モデルに使用したパラメータを示す。

北海道での解析では、ワクチン接種率が 55%、45%、35% の場合の狂犬病総発生数はそれぞれ中央値が 2 頭、4 頭、354 頭であった（図 3）。また、終息までの期間は中央値がそれぞれ 53.5 日、92.5 日、339.5 日であった（図 4）。

茨城県での解析では、ワクチン接種率が 55.6%、45.6%、35.6% の場合の狂犬病総発生数はそれぞれ中央値が 2 頭、3 頭、389 頭であった（図 5）。また、終息までの期間は中央値がそれぞれ 35 日、89.5 日、397.5 日であった（図 6）。

D. 考察

地域のワクチン接種率が低下することで、狂犬病の総発生数が大きくなり、また狂犬病終息までの時間が長くなったことでワクチン接種が狂犬病発生時の被害を小さ

くすることを客観的に示すことが出来た。しかしながら、現在のモデルでは、室内で飼育されている犬の割合や、狂犬病発生時の緊急対策の効果が考慮されていない。

来年度はさらにモデルの信頼性を高めるためこれらの要因を考慮に入れて計算することで狂犬病拡散の現実的なリスクの定量を行うことを予定している。

また、複数の制御オプションを設定し、この経済的評価を行うことにより、よりインフォーマティブなシミュレーションを実施する。

E. 結論

現状の日本における狂犬病侵入時の拡散リスクが明らかになった。しかしながらモデルには改良の余地があり、来年度はより現実に即した拡散リスクを作成し、経済分析を実施することによりリスクコミュニケ

ーションを実施して行く。

F. 健康危機情報

なし

G. 研究発表

黒澤愛子・門脇弾・蒔田浩平・唐仁原景昭. 大正及び昭和初期の大阪府における狂犬病発生疫学解析. 2014年9月10日開催の獣医学会学術集会にて発表。

門脇弾・Katie Hampson・蒔田浩平・山田章雄. 感染症モデリングを用いた我が国に狂犬病侵入した場合の流行拡大の解析. 2015年3月28日開催の獣医疫学会学術集会にて発表予定。

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

表1. 狂犬病拡散に影響すると考えられる因子

リスク因子	理由	情報源
1. 社会学的因子		
人口密度	人口密度の高さは犬の飼育頭数と正の相関があると考えられるため。	北海道庁 茨城県庁
世帯当たり飼育頭数	世帯当たり飼育頭数が多いと狂犬病がより速く拡散すると考えられたため。	厚生労働省 国土地理院 日本ペットフード協会
飼養状況	屋内・屋外飼育や一日の散歩回数等飼養状況は狂犬病発症犬との接触頻度に影響すると思われる。	日本ペットフード協会
放浪犬の数	放浪犬は繋留されていないことから狂犬病に感染し、感染させるリスクが高く、また狂犬病の発見が困難である。	北海道庁 茨城県庁 環境省
ワクチン接種率	集団免疫に影響する。	厚生労働省
2. 地理学的因子		
単位面積当たりの川の長さ	川は狂犬病拡散において障害となり、また拡散の方向に影響する。	国土地理院
森林占有率	森林は狂犬病拡散にとって障害物となると考えられた。	林野庁

表2. 北海道と茨城県における表1に挙げられた因子の状況

項目	北海道	茨城県	全国平均
人口密度(人/km ²)	70.6	500.4	343.4
世帯当り犬飼育頭数(頭/世帯)	0.11	0.16	0.13
犬飼養割合(%)	66.7	76.1	69.1
放浪犬数(頭)	1211	2048	823.3
ワクチン接種率(%)	73.1	67.6	73.2
単位面積当たりの川の長さ (Km/ha)	0.0020	0.0038	0.0045
森林占有率(%)	70.7	30.8	62.8

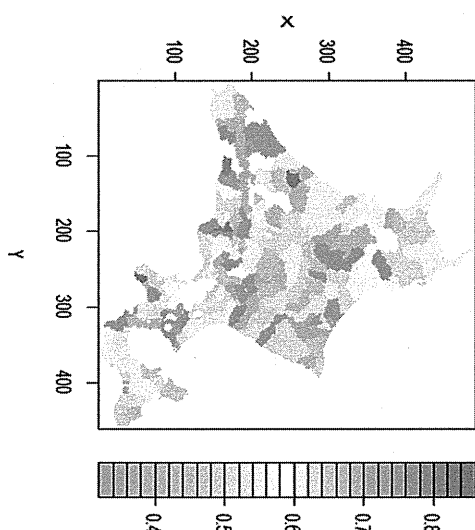


図1. 北海道のワクチン接種率

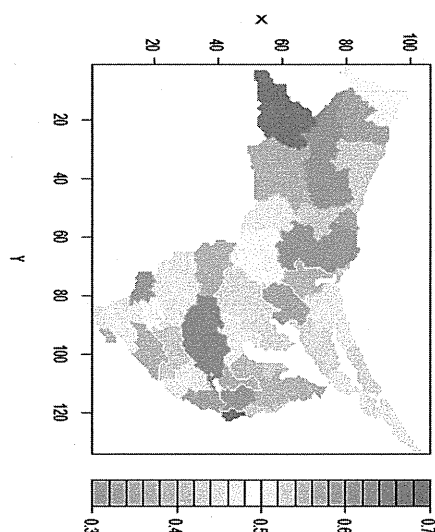


図2. 茨城県のワクチン接種率

表3. 狂犬病拡散モデルで用いたパラメータ

パラメータ	情報源
1. 人口密度 (平均)	
北海道: 70.6 人/km ²	北海道庁
茨城県: 500.4 人/km ²	茨城県庁
2. ワクチン接種率 (平均)	
北海道: 57.8%	北海道庁・日本ペットフード協会
茨城県: 51.8%	茨城県庁・日本ペットフード協会
3. 基礎再生産数	
2.8 頭 (2.53 – 3.03)	過去の大阪府の狂犬病発生情報より推定
4. 世代間隔	
31.0 日 (2.3 – 133.9)	過去の大阪府の狂犬病発生情報より推定
5. 距離カーネル	
0.88km (0.83 – 0.92)	バリ島でのデータ (Townsend et al.)
6. 調節パラメータ	
距離の倍数 α : 2.28	過去の大阪府の狂犬病発生情報
人口密度の倍数 β : 2.24	過去の大阪府の狂犬病発生情報

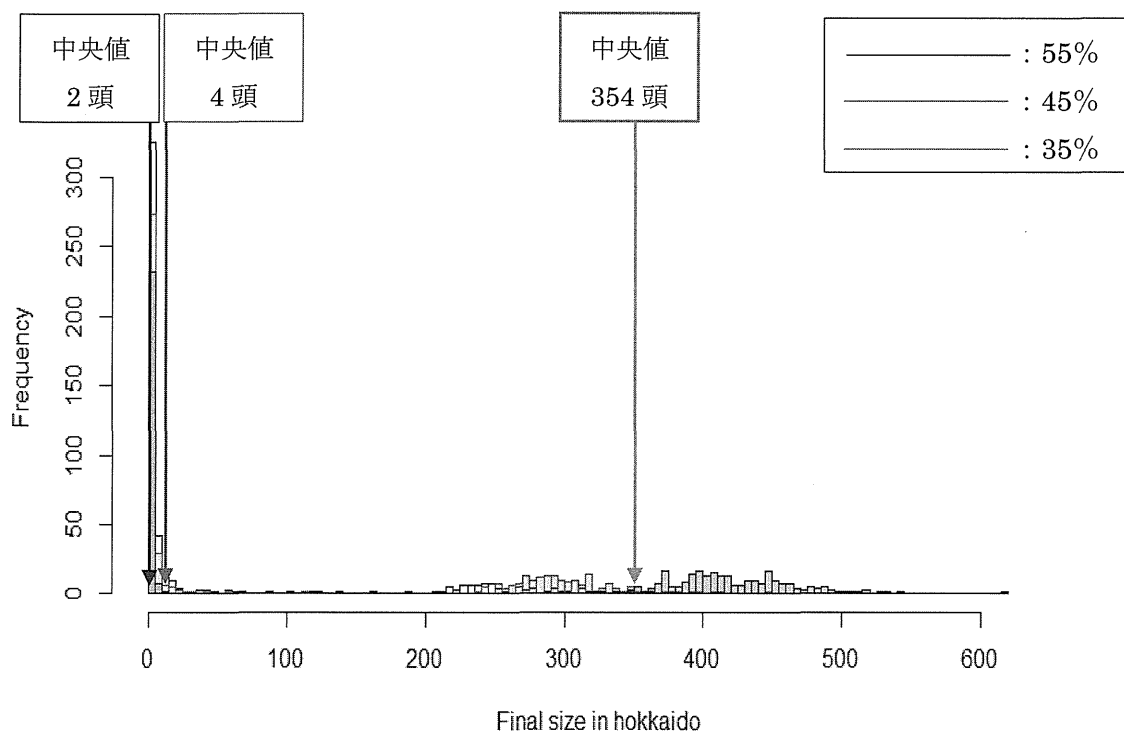


図 3. 札幌市近郊での異なるワクチン接種率下での狂犬病総発生数

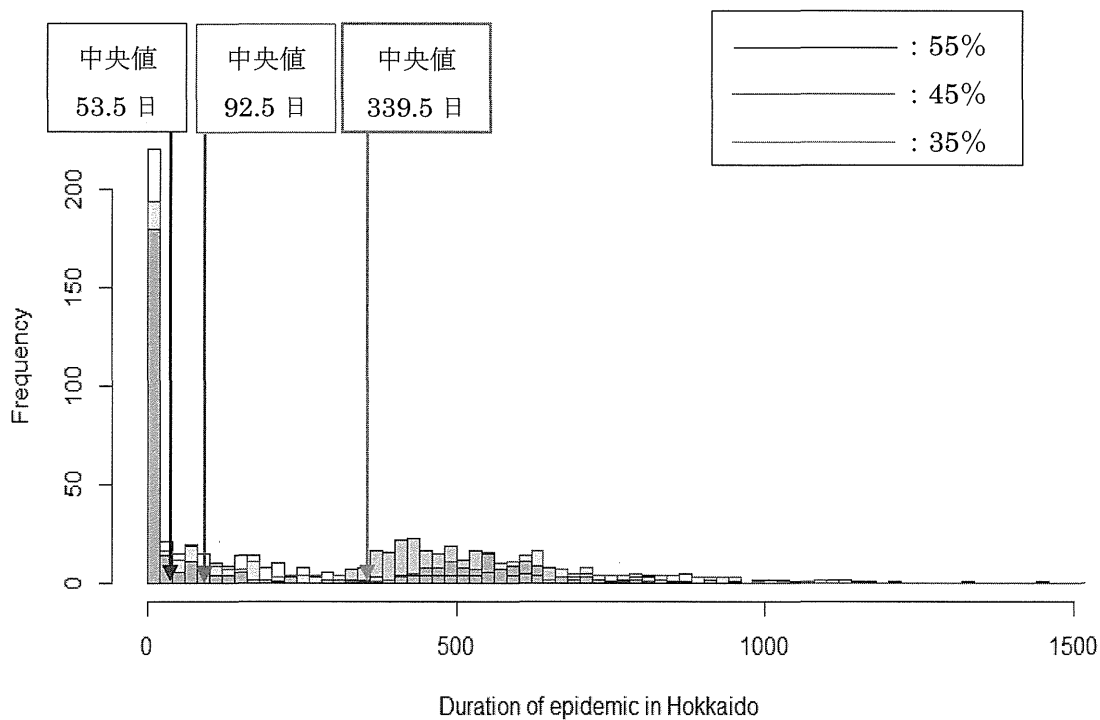


図 4. 札幌市近郊での異なるワクチン接種率下での狂犬病終息までの期間

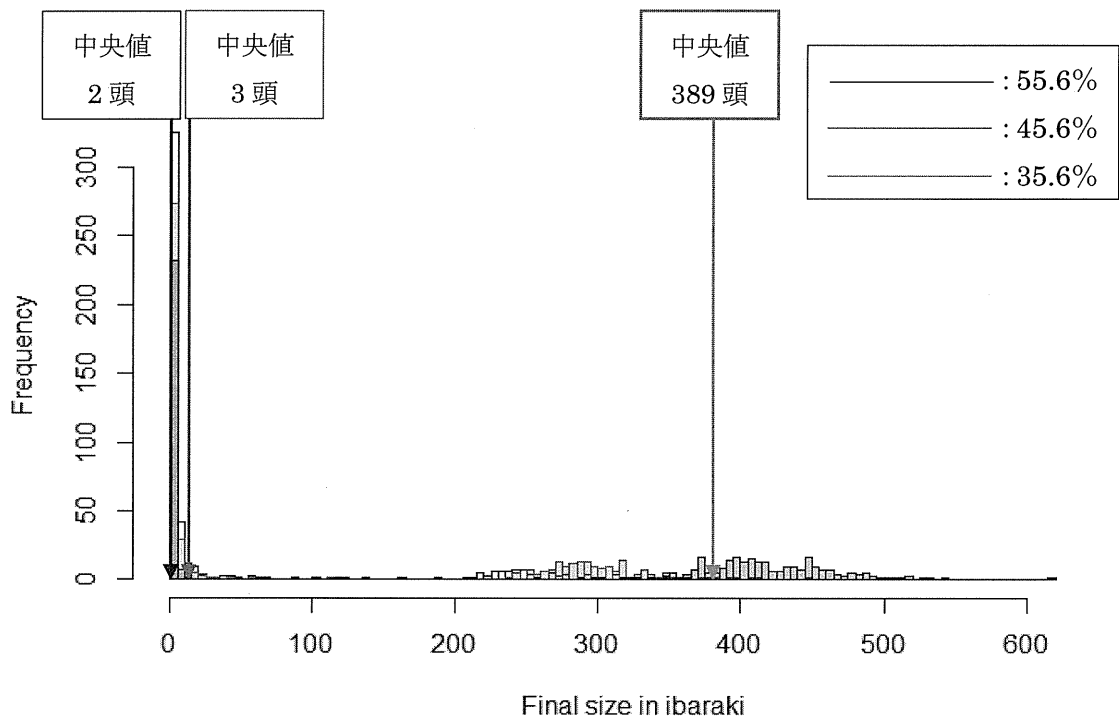


図 5. 水戸市近郊での異なるワクチン接種率下での狂犬病総発生数

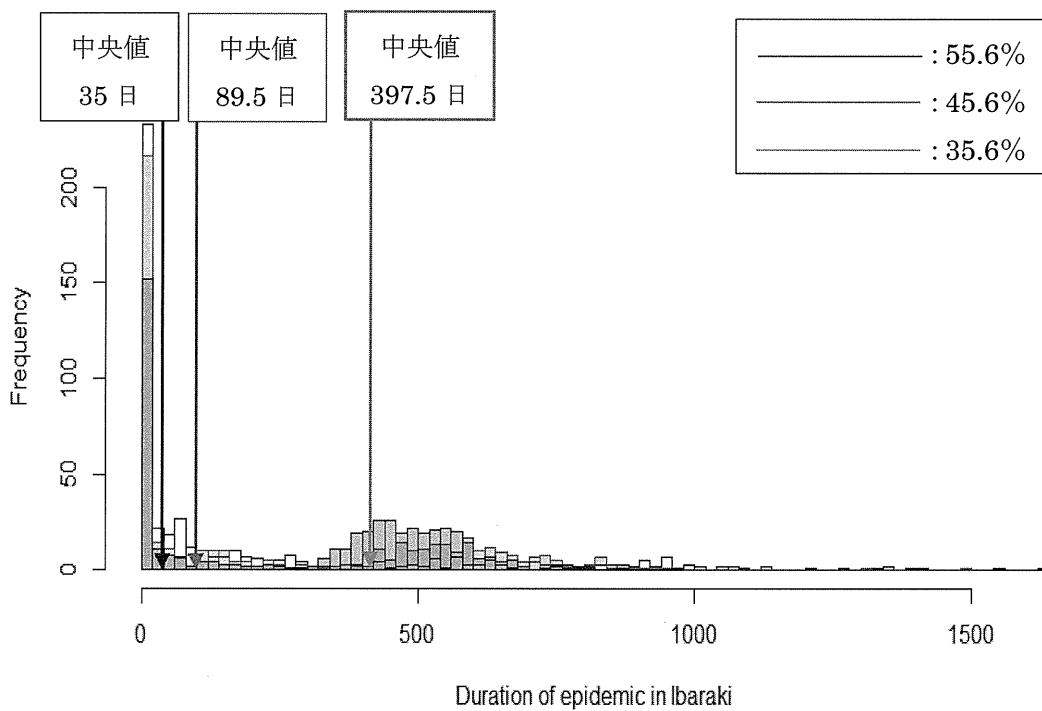


図 6. 水戸市近郊での異なるワクチン接種率下での狂犬病終息までの期間

分担研究報告書

オーストラリアおよび台湾における狂犬病の防疫対策に関する訪問調査

研究分担者: 杉山 誠 岐阜大学応用生物科学部・教授

研究協力者: 伊藤直人 岐阜大学応用生物科学部・准教授

研究協力者: 岡田和真 岐阜大学大学院連合獣医学研究科

研究要旨: 2014年2月、日本と同じく狂犬病清浄国として知られるオーストラリアで訪問調査を実施し、同国における狂犬病の防疫対策に関する情報を収集した。本年度はその成果をまとめ、将来における狂犬病対策を考える上での基礎情報とした。また、2014年12月、狂犬病の再流行が確認された台湾にて調査を行い、狂犬病の防疫対策と撲滅に向けた取り組みについて調べた。その結果、日本で狂犬病が再流行した場合の対策を立案する上で重要な基礎情報を得ることができた。

A. 研究目的

狂犬病は、重篤な神経症状とほぼ100%の高い致死率を主徴とするウイルス性人獣共通感染症である。本病は、一部の清浄国を除き全世界に分布し、アジアやアフリカの発展途上国を中心に毎年5.5万人以上の犠牲者をもたらしている。

日本は、1957年の猫における1例を最後に、狂犬病の撲滅に成功し、世界でもまれな本病の清浄地域になっている。一方、オーストラリアも日本と同様に狂犬病の清浄地域として知られている。日本とオーストラリアのいずれにおいても、海外の流行国からの狂犬病の侵入阻止・定着阻止が重要な課題となるものの、両国の狂犬病の防疫対策は大きく異なっている。例えば、日本では狂犬病予防法によって飼育犬の予防接種が義務づけられているのに対し、オーストラリア

ではそのような措置は取られていない。他の清浄地域の狂犬病対策を具体的に知ることは、将来の日本における対策のあり方を検討する上で極めて重要と言える。

2013年7月、日本と同様に長い間清浄地域として知られていた台湾において狂犬病の再流行が確認された。イタチアナグマという野生動物に狂犬病の流行が確認されて以降、台湾が実際に行ってきた狂犬病対策を知ることは、今後、日本で狂犬病が再流行した場合の防疫対策を考える上で重要となる。

昨年度の末に(2014年2月)に研究協力者の岐阜大学准教授・伊藤直人及び大学院1年・岡田和真がオーストラリア・ビクトリア州政府の環境・一次産業部門およびCISRO オーストラリア動物衛生研究所を訪問し、同国における狂犬病対策の現状について調査・討議を行った。本年

度は、その調査結果に基づき、オーストラリアの狂犬病対策の現状と課題についてまとめることとした。また、2014年12月には、研究協力者の伊藤直人准教授が台湾の家畜衛生試験所を訪問し、同国における狂犬病の防疫対策についての調査を行った。

B. 研究方法

1) オーストラリアにおける狂犬病対策に関する訪問調査のまとめ

オーストラリア・ビクトリア州の主任獣医官(CVO)である Malcolm Ramsay 博士と面談し、オーストラリアの狂犬病対策に関して討議を行った。また、CSIRO の Peter Walker 博士の紹介により、オーストラリア農務省の Lyndel Post 博士から Eメールによる情報提供を受けた。

2) 台湾における狂犬病の流行状況と防疫対策に関する訪問調査

台湾の家畜衛生試験所の副研究員である曾俊憲(Chun-Hsien, Tseng)氏らを訪問し、同国における狂犬病の流行状況および防疫対策に関して討議を行った。

(倫理面からの配慮について)

該当なし

C. 研究結果

1) オーストラリアにおける狂犬病対策に関する訪問調査のまとめ

ビクトリア州 CVO の Ramsey 博士との面談では、まず、オーストラリアにおける狂犬病の防疫に関する組織体系について説明を受け、オース

トラリア政府が主に検疫を含む国境管理やリスク分析、州政府が狂犬病の侵入・発生時における具体的な対応・動物検体の診断、地方政府が動物の登録と野犬管理に責任を持つことが明らかとなった。

日本において「オーストラリアでは犬への狂犬病ワクチンの投与が禁止されている」という情報を耳にすることがあったため、その真偽を確認したところ、正確には「厳密に狂犬病ワクチンの使用が制限されている」というべきであることが判明した。実際、①犬・猫の輸出時に必要な場合、②オーストラリア・コウモリ・リッサウイルス(ABLV)に暴露された可能性のある場合については、CVO の許可に基づき、動物へのワクチンの接種が行われている。このように、厳密にワクチンの使用を制限している理由については、他の海外悪性感染症(ワクチン誘導抗体がその診断の障害となる感染症を含む)と包括的にワクチンの使用が制限されているという事実がある。

その他、犬の登録制度や野生動物における狂犬病の監視体制に関する情報を得ることができた。

オーストラリア農務省の Lyndel Post 博士からの情報により、オーストラリアでは、海外からの狂犬病の侵入を防ぐため、様々な対策が取られていることがわかった。また、バイオセーフティ上の危険物の保持や虚偽申請に対して厳しい罰則が設けられている。さらに、パプアニューギニアやインドネシアと国境を接する北部検疫エリアでは追加の措置が取られていることが判明した。

また狂犬病侵入を想定した訓練の有無について質問したところ、「少なくとも最近は実施して