

ヤクシカの個体数の変動予測について

横浜国立大学 教授 松田裕之
 横浜国立大学 院生 藤巻碧海
 (一社) 日本森林技術協会

1. 個体群動態モデルの説明

ヤクシカの個体数の変動予測について、以下の数理モデルを考える。

$$\begin{aligned} N_c(t+1) &= R [N_f(t) - a C_f(t)] \\ N_f(t+1) &= S_c [N_c(t)/2 - (1-a)C_f(t)] + S_f [N_f(t) - a C_f(t)] \\ N_m(t+1) &= S_c [N_c(t) /2 - (1-a)C_m(t)] + S_m [N_m(t) - a C_m(t)] \end{aligned}$$

ここで、 $N_c(t)$, $N_f(t)$, $N_m(t)$ は、それぞれ t 年目の当歳、雌成獣、雄成獣の個体数、 S_c , S_f , S_m は、それぞれ当歳、雌成獣、雄成獣の年あたり生存率（自然死亡のみで捕獲を除く）、 R は繁殖成功(1 母 1 年あたり 0.5 歳の子の数)、 a は捕獲数のうちの成獣の比率、 $C_f(t)$ と $C_m(t)$ は雌と雄の捕獲数を表す。

すなわち、雌は 1.5 歳で成熟し、2 歳から子供を生みだす。妊娠率、死亡率の年齢依存性は無視する。ある年の個体数を数えた後、捕獲され、そのあと繁殖し、さらに自然死亡が起こると仮定する。これらの仮定は、Simbambi より単純化したものである。Matsuda et al. (1999) のエゾシカモデルでは、狩猟→自然死亡→出産→駆除の順番で起こると考え、 R や S の年変動を考えたリスク管理モデルだが、今回は年変動を無視している。藤巻ら(準備中)は密度効果を考慮しているが、今回はそれも無視する。

今回、 $R=.97$, $S_c=.71$, $S_f=.83$, $S_m=.74$, $a=.85$ とする。捕獲がないときの自然増加率は $[S_f + \sqrt{(S_f^2 + 2S_c S_f)}]/2$ で表され、上記のパラメタ値では 11%である。

2. 個体数変動予測の仮定

変動予測は、2010 年～2011 年の捕獲率の高い、河川界区分におけるブロック 1（小瀬田・永久保・楠川地区等）、ブロック 5（栗生・中間・湯泊地区）、ブロック 9（永田・一湊・志戸子・宮之浦林道地区）の 3 ブロックを重点的に、以下の 1～3 のシナリオを設定し予測した。

また、その他のブロック（2・3・4・6・7・8・10）においても、1～2 のシナリオにおける予測を行った。

予測に当たっては、ヤクシカの 2008 年におけるの推定個体数 $N(0)$ を、ブロック 1 が 2,313 頭、ブロック 5 が 1,111 頭、ブロック 9 が 2,784 頭とした。

また、捕獲数については、2008 年から 2011 年までは実測値を、2012 年以降はシナリオごとに異なるが、実測値以降の捕獲率は一定とした。

【シナリオ 1】：現在の捕獲率での個体数変動予測

2010 年の捕獲率で捕獲し続ける。

【シナリオ 2】：2017 年までに目標密度 20 頭にする個体数変動予測

2017 年に密度 20 頭/km² となるようメスの捕獲率 H_f を設定する。オスの捕獲数はメスの捕

獲数の 53/47 倍とする。 $(Cf=Hf*Nf, Cm=53/47*Cf)$

【シナリオ 3】：2022 年までに目標密度 20 頭にする個体数変動予測

2022 年に密度 20 頭となるようメスの捕獲率 Hf を設定する。オスの捕獲数はメスの捕獲数の 53/47 倍とする。 $(Cf=Hf*Nf, Cm=53/47*Cf)$

シナリオ 2 については、性比が偏ると $Nm < 0$ となる恐れがあるが、対象となっているブロック 1、5、9 では起こらなかった。

3. 変動予測結果

(1) 小瀬田林道を含むブロック 1 の予測結果

民有林で捕獲圧が最も高い区域がブロック 1 である。シナリオ 2 と比較しても 2010 年の捕獲率を続けることで個体数を減少させることができると考えられる。ただし、推定値やパラメタには不確実性があるため、効果検証のためのモニタリングが必要となってくる。また、捕獲努力量が一定であっても一般的に密度が低くなると、高密度時よりも捕獲数の減少が考えられる。

1.) 現在の捕獲率での個体数変動予測

年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
個体数	2,835	2,514	1,938	1,759	1,582	1,417	1,266	1,130
雌個体数	1,188	1,056	852	755	675	602	537	479
雄個体数	752	651	451	425	394	357	321	287
幼獣個体数	895	806	635	579	513	458	408	364
雌捕獲数	307	384	220	195	174	156	139	124
雄捕獲数	263	375	158	149	138	125	112	101
密度	43.48	38.56	29.73	26.99	24.26	21.73	19.42	17.34

2.) 2017 年までに目標密度 20 頭にする個体数変動予測

年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
個体数	2,835	2,514	1,938	1,785	1,645	1,521	1,408	1,305
雌個体数	1,188	1,056	852	789	737	687	641	598
雄個体数	752	651	451	388	345	307	276	250
幼獣個体数	895	806	635	609	563	527	491	458
雌捕獲数	307	384	179	166	155	145	135	126
雄捕獲数	263	375	202	187	175	163	152	142
密度	43.48	38.56	29.73	27.38	25.23	23.32	21.59	20.02

3.) 2022 年までに目標密度 20 頭にする個体数変動予測

年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
個体数	2,835	2,514	1,938	1,861	1,783	1,712	1,644	1,580
雌個体数	1,188	1,056	852	813	785	755	727	699
雄個体数	752	651	451	416	396	376	358	342
幼獣個体数	895	806	635	631	602	581	559	538
雌捕獲数	307	384	149	142	137	132	127	123
雄捕獲数	263	375	168	161	155	149	144	138
密度	43.48	38.56	29.73	28.54	27.35	26.25	25.21	24.23

年	2018	2019	2020	2021	2022
個体数	1,518	1,460	1,404	1,351	1,300
雌個体数	673	648	624	601	578
雄個体数	327	313	301	288	277
幼獣個体数	518	499	480	462	445
雌捕獲数	118	114	109	105	101
雄捕獲数	133	128	123	119	114
密度	23.29	22.39	21.54	20.72	19.94

(2) 湯泊林道を含むブロック 5 の予測結果

比較的低密度区域であるのがブロック 5 である。ブロック 5 においては、シナリオ 1 と 2 を比較すると、2010 年の捕獲率では減少させることができるものの、2017 年に密度 20 頭を達成できるほどではない。2022 年に目標密度を達成できるのと同程度の捕獲率となっている。

1.) 現在の捕獲率での個体数変動予測

年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
個体数	1,345	1,286	1,138	1,097	1,052	1,007	963	921
雌個体数	573	545	492	468	448	428	409	391
雄個体数	340	321	273	267	260	250	240	230
幼獣個体数	433	421	373	361	344	329	314	300
雌捕獲数	105	136	90	86	82	78	75	72
雄捕獲数	99	134	80	78	76	73	70	67
密度	37.66	36.02	31.88	30.71	29.46	28.20	26.98	25.80

2.) 2017 年までに目標密度 20 頭にする個体数変動予測

年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
個体数	1,345	1,286	1,138	1,031	936	853	779	713
雌個体数	573	545	492	453	418	386	356	329
雄個体数	340	321	273	231	198	172	150	132
幼獣個体数	433	421	373	347	320	295	273	252
雌捕獲数	105	136	109	100	93	86	79	73
雄捕獲数	99	134	123	113	105	97	89	82
密度	37.66	36.02	31.88	28.86	26.21	23.88	21.81	19.96

3.) 2022 年までに目標密度 20 頭にする個体数変動予測

年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
個体数	1,345	1,286	1,138	1,082	1,030	982	937	896
雌個体数	573	545	492	470	451	432	414	397
雄個体数	340	321	273	250	233	218	205	194
幼獣個体数	433	421	373	362	346	332	318	305
雌捕獲数	105	136	88	84	81	78	74	71
雄捕獲数	99	134	100	95	91	88	84	80
密度	37.66	36.02	31.88	30.31	28.85	27.50	26.25	25.08

年	2018	2019	2020	2021	2022
個体数	856	819	784	751	719
雌個体数	380	365	350	335	321
雄個体数	184	174	166	158	151
幼獣個体数	292	280	269	258	247
雌捕獲数	68	66	63	60	58
雄捕獲数	77	74	71	68	65
密度	23.98	22.94	21.96	21.03	20.14

(3) 宮之浦林道を含むブロック 9 の予測結果

ブロック 9 は、国有林で捕獲圧が最も高い区域である。シナリオ 1 と 2 を比較すると、2010 年の捕獲率では減少させることができるものの、2017 年に密度 20 頭を達成できるほどではない。2022 年には 2010 年と同程度の捕獲率でも密度 20 頭を達成できる。

1.) 現在の捕獲率での個体数変動予測

年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
個体数	3,542	3,309	2,675	2,547	2,410	2,274	2,143	2,018
雌個体数	1,486	1,395	1,170	1,094	1,031	970	913	859
雄個体数	925	840	629	609	589	560	530	500
幼獣個体数	1,130	1,073	876	844	789	744	700	659
雌捕獲数	298	457	235	219	207	194	183	172
雄捕獲数	290	442	197	191	185	175	166	157
密度	43.83	40.94	33.10	31.52	29.82	28.14	26.52	24.98

2.) 2017 年までに目標密度 20 頭にする個体数変動予測

年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
個体数	3,542	3,309	2,675	2,405	2,168	1,960	1,777	1,614
雌個体数	1,486	1,395	1,170	1,066	979	897	822	753
雄個体数	925	840	629	520	442	378	327	285
幼獣個体数	1,130	1,073	876	819	747	686	628	576
雌捕獲数	298	457	268	245	225	206	189	173
雄捕獲数	290	442	303	276	253	232	213	195
密度	43.83	40.94	33.10	29.77	26.82	24.26	21.99	19.97

3.) 2022 年までに目標密度 20 頭にする個体数変動予測

年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
個体数	3,542	3,309	2,675	2,536	2,403	2,281	2,168	2,063
雌個体数	1,486	1,395	1,170	1,108	1,060	1,011	965	920
雄個体数	925	840	629	569	530	494	463	435
幼獣個体数	1,130	1,073	876	858	813	777	741	707
雌捕獲数	298	457	216	205	196	187	178	170
雄捕獲数	290	442	244	231	221	211	201	192
密度	43.83	40.94	33.10	31.38	29.73	28.23	26.83	25.53

年	2018	2019	2020	2021	2022
個体数	1,964	1,870	1,782	1,699	1,620
雌個体数	878	838	800	763	728
雄個体数	411	388	368	349	332
幼獣個体数	675	644	614	586	560
雌捕獲数	162	155	148	141	135
雄捕獲数	183	175	167	159	152
密度	24.30	23.14	22.05	21.02	20.04

(4) ブロック 2 の予測結果

2010 年の捕獲率では増加し続け、2017 年には 2010 年の個体数の 1.7 倍となる。

1.) 現在の捕獲率での個体数変動予測

年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
個体数	1,860	2,013	2,186	2,350	2,524	2,710	2,910	3,124
雌個体数	775	826	893	959	1,029	1,105	1,186	1,272
雄個体数	496	538	596	643	692	744	799	859
幼獣個体数	589	649	697	748	803	862	925	993
雌捕獲数	34	30	39	42	45	48	52	56
雄捕獲数	45	38	54	58	63	68	73	78
密度	35.54	38.47	41.78	44.91	48.23	51.80	55.61	59.70

2.) 2017 年までに目標密度 20 頭にする個体数変動予測

年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
個体数	1,860	2,013	2,186	1,867	1,605	1,385	1,200	1,044
雌個体数	775	826	893	799	708	629	558	496
雄個体数	496	538	596	464	357	278	217	171
幼獣個体数	589	649	697	603	540	478	425	377
雌捕獲数	34	30	235	210	186	166	147	131
雄捕獲数	45	38	265	237	210	187	166	147
密度	35.54	38.47	41.78	35.67	30.66	26.46	22.94	19.95

(5) ブロック 3 の予測結果

2010 年では捕獲していないため、急激に増加し続け、2017 年には 2010 年の 2 倍以上の個体数となる。シナリオ 2 では性比の偏りが生じており、2017 年以後同条件で捕獲し続けると、 $N_m < 0$ となる。

1.) 現在の捕獲率での個体数変動予測

年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
個体数	1,812	2,054	2,306	2,581	2,880	3,209	3,570	3,970
雌個体数	759	838	932	1,034	1,148	1,274	1,415	1,571
雄個体数	472	555	645	736	833	935	1,047	1,168
幼獣個体数	581	661	729	810	899	999	1,109	1,231
雌捕獲数	0	0	0	0	0	0	0	0
雄捕獲数	0	0	0	0	0	0	0	0
密度	47.42	53.75	60.35	67.54	75.37	83.97	93.44	103.89

2.) 2017 年までに目標密度 20 頭にする個体数変動予測

年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
個体数	1,812	2,054	2,306	1,833	1,465	1,175	945	763
雌個体数	759	838	932	791	662	556	467	392
雄個体数	472	555	645	452	302	199	126	76
幼獣個体数	581	661	729	590	501	419	352	296
雌捕獲数	0	0	298	253	212	178	149	125
雄捕獲数	0	0	336	286	239	201	168	141
密度	47.42	53.75	60.35	47.98	38.34	30.74	24.74	19.98

(6) ブロック 4 の予測結果

2010 年の捕獲率のままではほとんど捕獲していないため急激に増加し続け、2017 年には 2010 年の個体数の 2 倍近くになる。2011 年には捕獲数が増加したものの、2017 年までに目標密度に達するためには、さらに多くの捕獲が必要となる。

1.) 現在の捕獲率での個体数変動予測

年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
個体数	1,148	1,286	1,306	1,458	1,618	1,793	1,983	2,192
雌個体数	480	526	540	594	656	723	798	880
雄個体数	301	345	349	398	450	504	561	623
幼獣個体数	366	415	417	467	513	566	625	689
雌捕獲数	4	55	5	5	5	6	7	7
雄捕獲数	9	63	10	12	13	15	17	19
密度	29.01	32.51	33.03	36.87	40.92	45.33	50.15	55.42

2.) 2017 年までに目標密度 20 頭にする個体数変動予測

年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
個体数	1,148	1,286	1,306	1,172	1,057	957	869	792
雌個体数	480	526	540	499	460	424	391	361
雄個体数	301	345	349	292	245	208	179	155
幼獣個体数	366	415	417	381	352	324	299	276
雌捕獲数	4	55	120	111	103	95	87	80
雄捕獲数	9	63	136	126	116	107	98	91
密度	29.01	32.51	33.03	29.63	26.72	24.19	21.98	20.02

(7) ブロック 6 の予測結果

2010 年の捕獲率のままではほとんど捕獲していないため、急激に増加し続け、2017 年には 2010 年の個体数の 2 倍以上になる。シナリオ 2 では性比の偏りが生じており、2017 年以後同条件で捕獲し続けると、 $N_m < 0$ となる。

1.) 現在の捕獲率での個体数変動予測

年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
個体数	979	1, 105	1, 241	1, 384	1, 539	1, 708	1, 894	2, 098
雌個体数	410	451	501	554	613	678	750	830
雄個体数	255	299	347	395	445	499	556	618
幼獣個体数	314	355	392	434	480	531	588	650
雌捕獲数	2	0	2	3	3	3	4	4
雄捕獲数	1	0	1	2	2	2	2	2
密度	43. 84	49. 52	55. 60	62. 00	68. 94	76. 52	84. 84	93. 99

2.) 2017 年までに目標密度 20 頭にする個体数変動予測

年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
個体数	979	1, 105	1, 241	1, 003	815	665	544	447
雌個体数	410	451	501	431	365	311	264	225
雄個体数	255	299	347	249	173	119	80	53
幼獣個体数	314	355	392	322	277	235	200	170
雌捕獲数	2	0	154	132	112	96	81	69
雄捕獲数	1	0	174	149	127	108	92	78
密度	43. 84	49. 52	55. 60	44. 92	36. 50	29. 78	24. 39	20. 04

(8) ブロック 7 の予測結果

2010 年の増加率のままでは増加する。シナリオ 2 では性比の偏りが生じており、2017 年以後同条件で捕獲し続けると、 $N_m < 0$ となる。

1.) 現在の捕獲率での個体数変動予測

年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
個体数	1, 899	2, 013	2, 158	2, 255	2, 350	2, 443	2, 535	2, 629
雌個体数	796	821	869	900	931	964	998	1, 033
雄個体数	494	552	613	657	695	729	762	793
幼獣個体数	609	640	676	699	724	749	775	803
雌捕獲数	71	51	77	80	83	86	89	92
雄捕獲数	35	27	43	47	49	52	54	56
密度	62. 12	65. 85	70. 60	73. 78	76. 87	79. 90	82. 94	86. 01

2.) 2017 年までに目標密度 20 頭にする個体数変動予測

年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
個体数	1,899	2,013	2,158	1,668	1,295	1,007	785	614
雌個体数	796	821	869	722	590	485	398	327
雄個体数	494	552	613	410	259	157	88	41
幼獣個体数	609	640	676	536	445	364	300	246
雌捕獲数	71	51	297	246	202	166	136	112
雄捕獲数	35	27	335	278	227	187	153	126
密度	62.12	65.85	70.60	54.57	42.35	32.93	25.69	20.09

(9) ブロック 8 の予測結果

2010 年の増加率のままでは増加する。シナリオ 2 では性比の偏りが生じており、2017 年以後同条件で捕獲し続けると、 $N_m < 0$ となる。

1.) 現在の捕獲率での個体数変動予測

年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
個体数	3,460	3,624	3,672	3,799	3,913	4,020	4,124	4,227
雌個体数	1,455	1,481	1,492	1,524	1,559	1,595	1,631	1,669
雄個体数	898	989	1,029	1,092	1,145	1,189	1,228	1,264
幼獣個体数	1,107	1,154	1,152	1,183	1,209	1,237	1,265	1,294
雌捕獲数	151	185	155	158	162	165	169	173
雄捕獲数	81	133	93	99	103	107	111	114
密度	69.50	72.79	73.76	76.30	78.58	80.75	82.84	84.89

2.) 2017 年までに目標密度 20 頭にする個体数変動予測

年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
個体数	3,460	3,624	3,672	2,815	2,164	1,667	1,287	996
雌個体数	1,455	1,481	1,492	1,227	997	814	663	541
雄個体数	898	989	1,029	674	415	242	125	49
幼獣個体数	1,107	1,154	1,152	913	751	611	498	406
雌捕獲数	151	185	520	427	347	284	231	188
雄捕獲数	81	133	586	482	392	320	261	212
密度	69.50	72.79	73.76	56.53	43.46	33.48	25.85	20.00

(10) ブロック10の予測結果

2010年の増加率のままでは増加する。シナリオ2では性比の偏りが生じており、2017年以後同条件で捕獲し続けると、 $N_m < 0$ となる。

1.) 現在の捕獲率での個体数変動予測

年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
個体数	1,966	2,040	2,237	2,298	2,361	2,425	2,490	2,556
雌個体数	824	842	912	938	963	988	1,014	1,041
雄個体数	513	542	611	633	651	670	688	707
幼獣個体数	630	656	713	727	747	767	787	808
雌捕獲数	82	26	91	93	96	98	101	104
雄捕獲数	72	27	86	89	91	94	97	99
密度	50.85	52.76	57.85	59.43	61.06	62.71	64.39	66.10

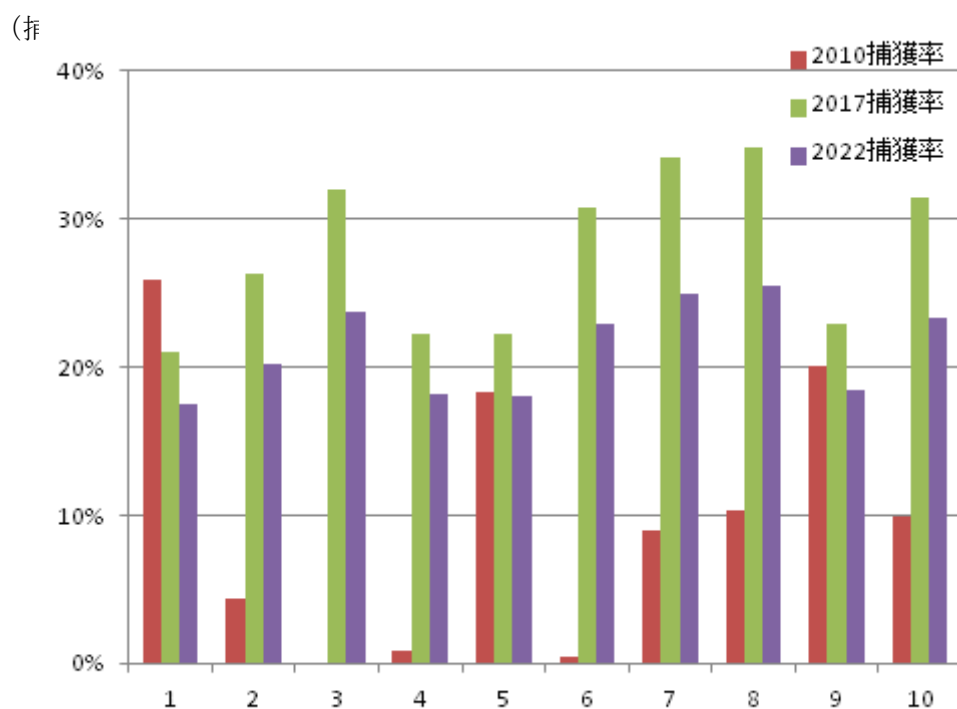
2.) 2017年までに目標密度20頭にする個体数変動予測

年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
個体数	1,966	2,040	2,237	1,792	1,444	1,167	947	772
雌個体数	824	842	912	779	655	554	467	395
雄個体数	513	542	611	432	292	196	127	79
幼獣個体数	630	656	713	582	497	418	353	298
雌捕獲数	82	26	287	245	206	174	147	124
雄捕獲数	72	27	324	276	232	196	166	140
密度	50.85	52.76	57.85	46.35	37.34	30.19	24.50	19.95

4. シナリオ 1, 2, 3 における捕獲率の比較

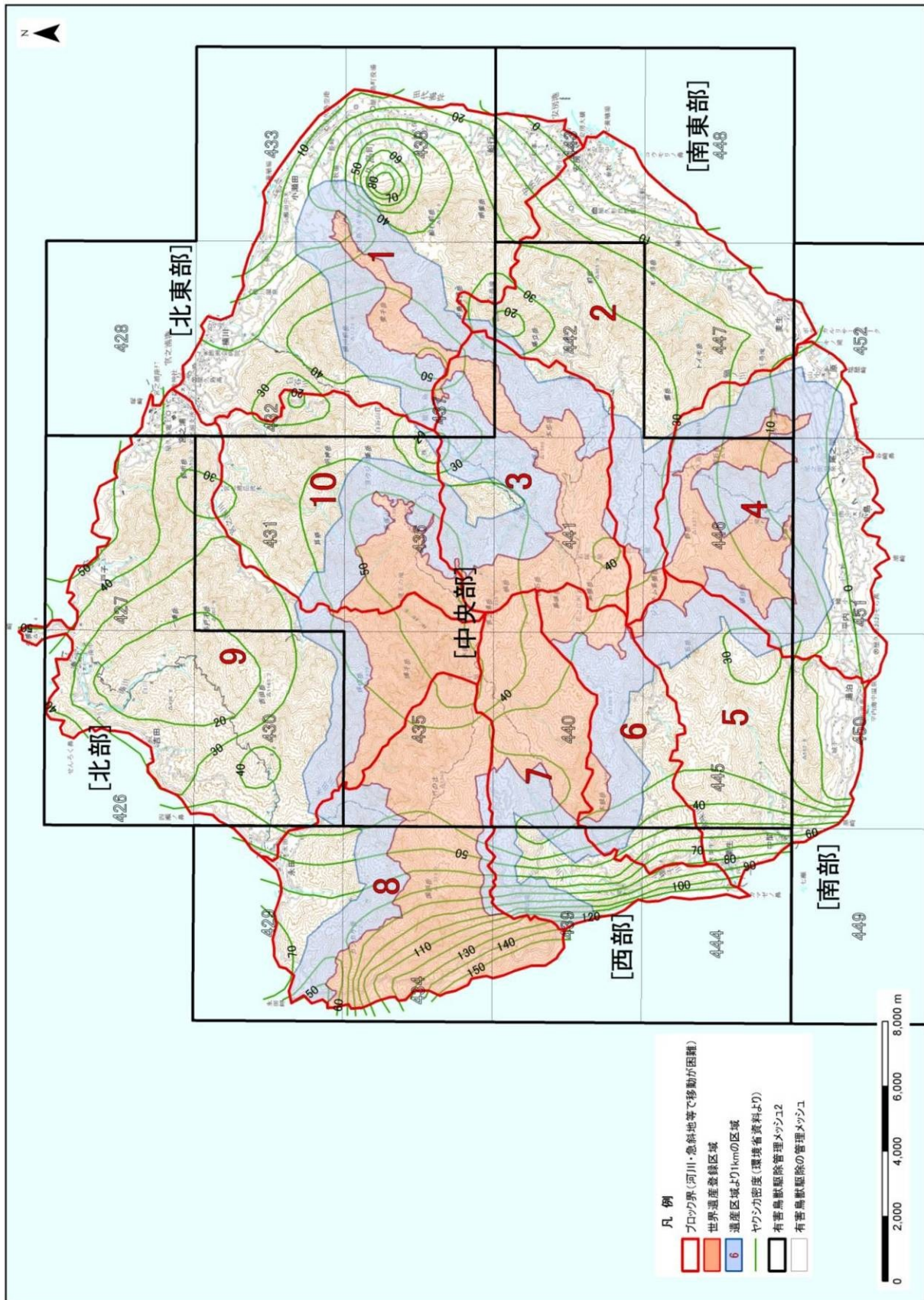
ブロック 1、5、9 は、他のブロックと比較すると、2010 年での捕獲率が高いブロックといえる。ブロック 5 と同じく低密度のブロック 4 は、世界遺産区域がふくまれるため、2010 年にはほとんど捕獲していない。山岳部で遺産区域を含むブロック 3 についても同傾向である。

ブロック 7、8 については、遺産区域を多く含むブロックではあるが捕獲率がブロック 3、4 と比較して高く、遺産区域外で捕獲している傾向が見える。ただし 2017 年までに密度 20 頭にできるほどではない。



図一河川界区分 10 ブロックにおける 3 つのシナリオ別の捕獲率

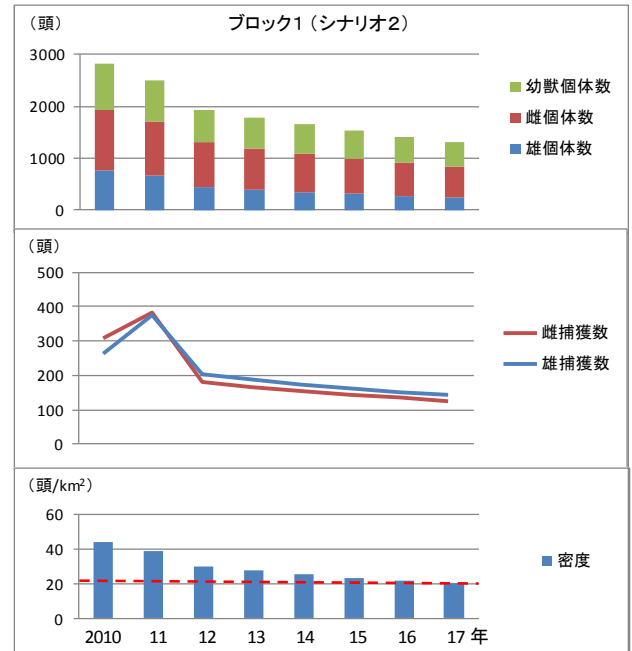
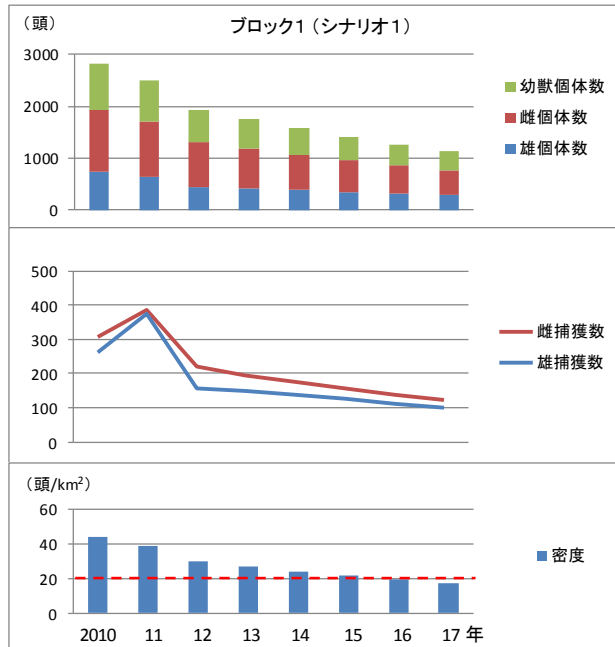
5. 参考資料



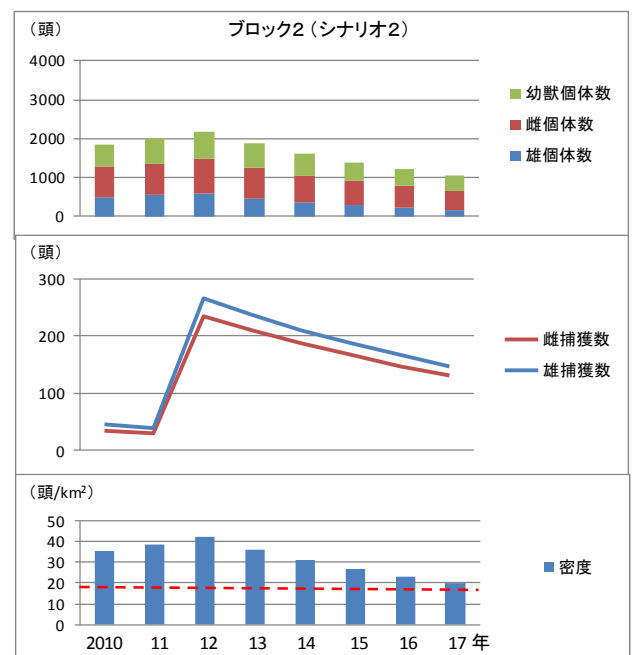
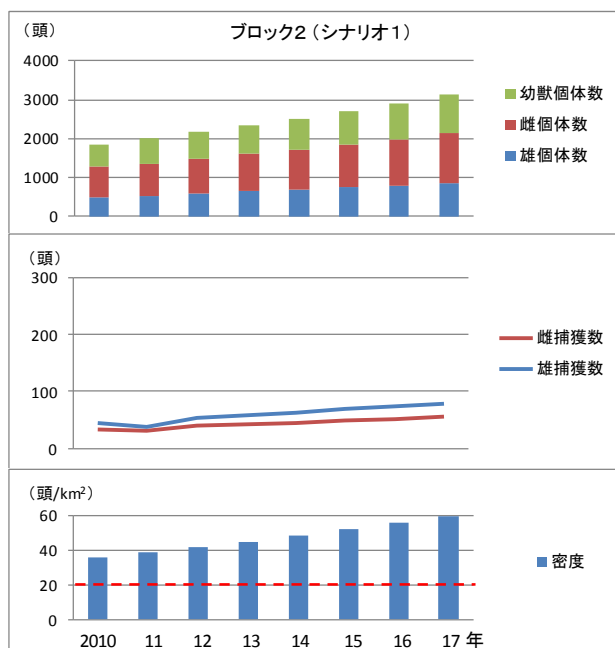
図一河川界区分 10 ブロックの位置

【参考資料】ブロック 1・2におけるシナリオ 1・2における予測結果

ブロック 1

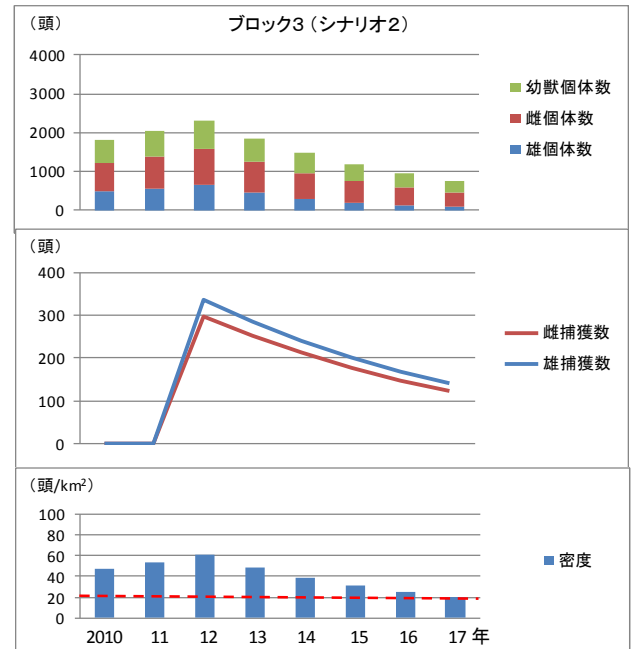
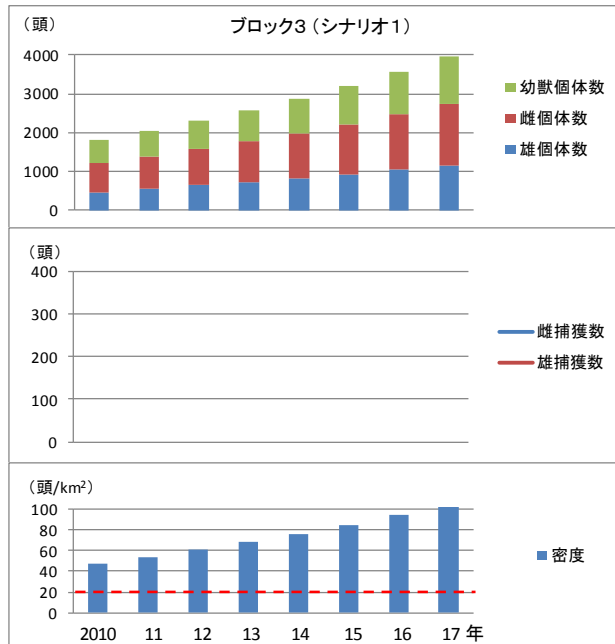


ブロック 2

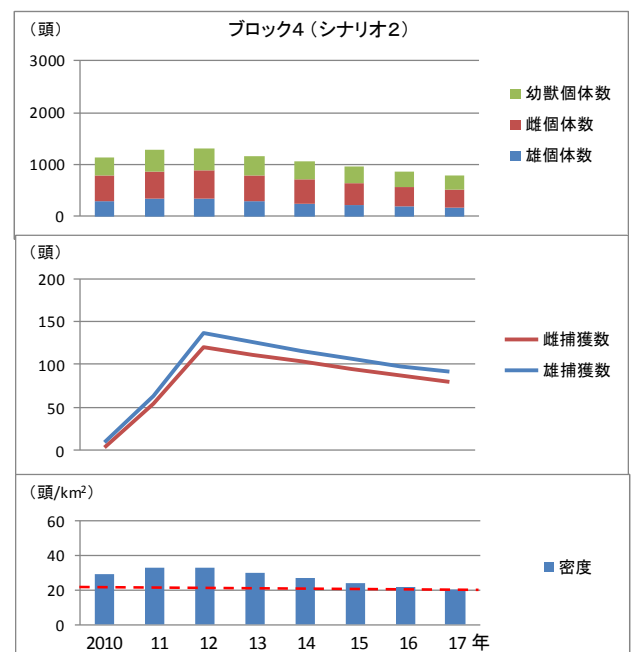
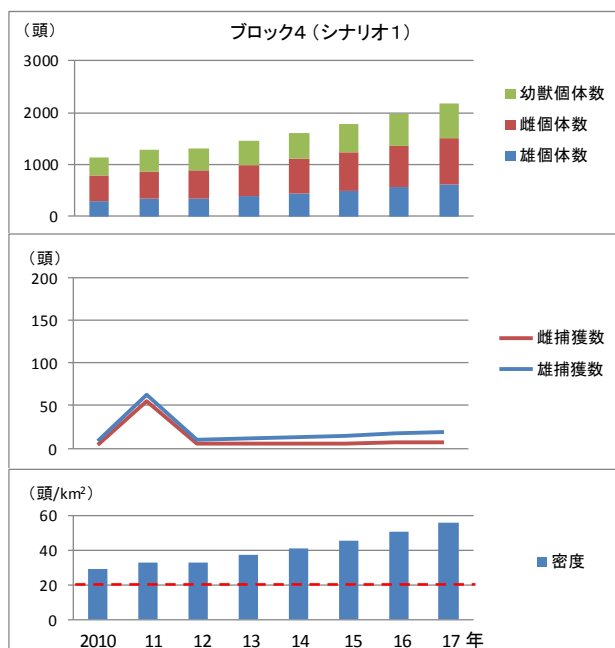


【参考資料】ブロック 3・4におけるシナリオ 1・2における予測結果

ブロック 3

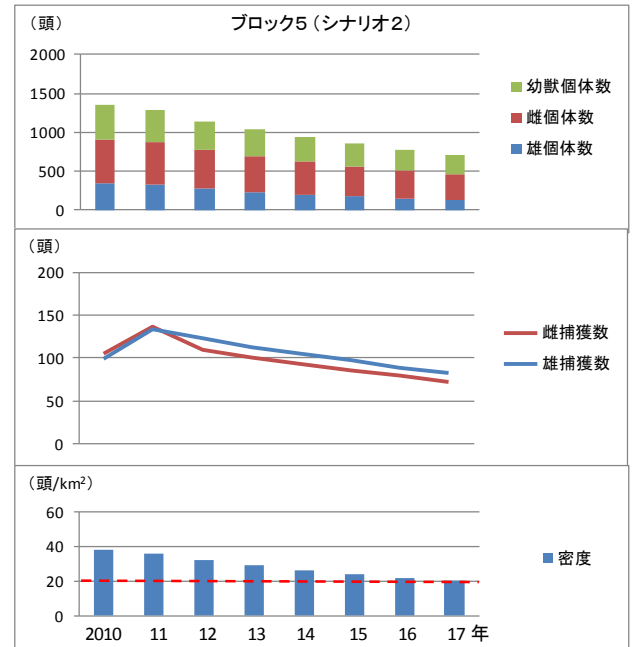
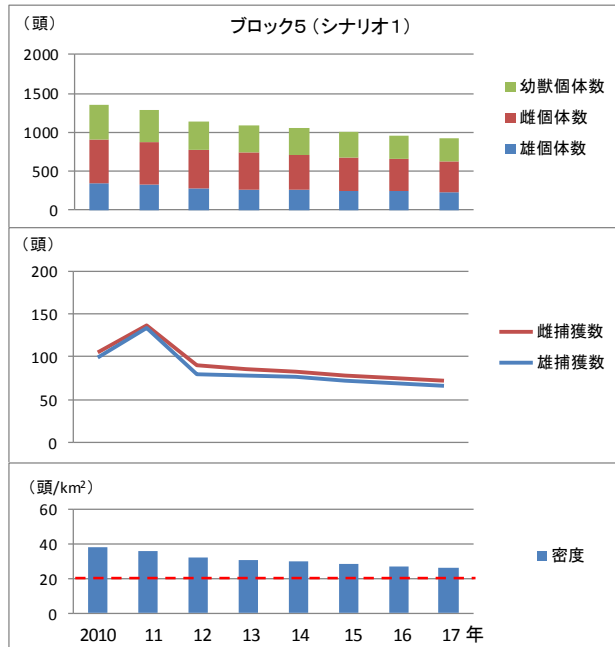


ブロック 4

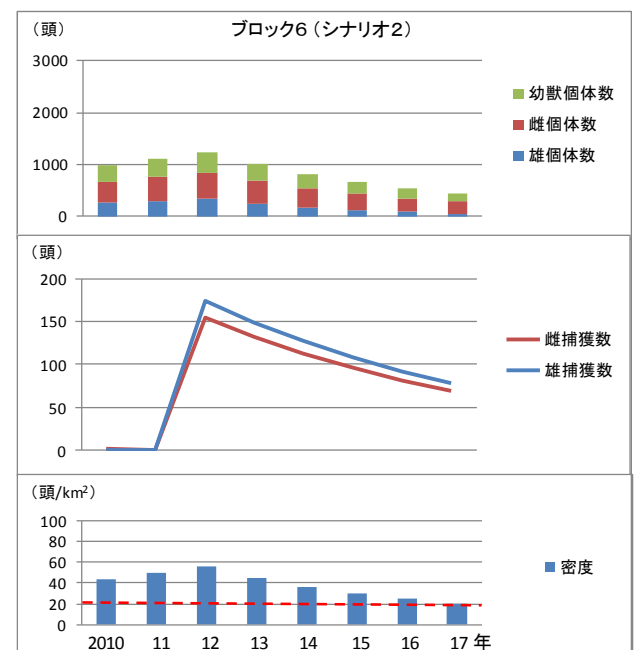
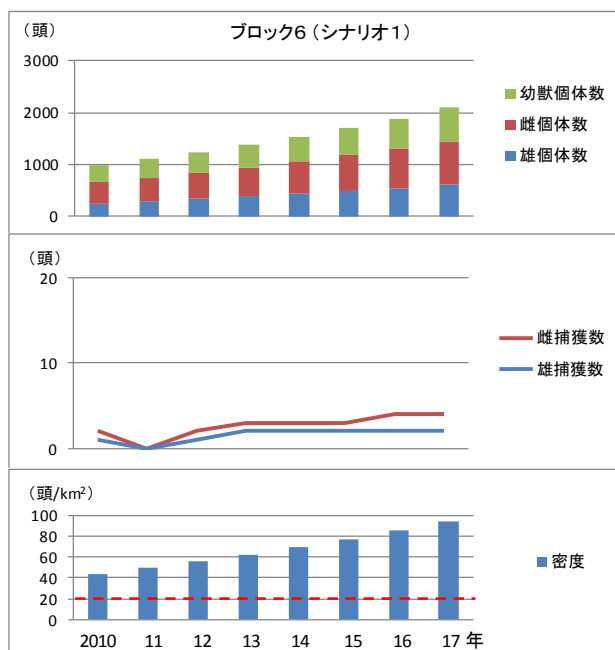


【参考資料】ブロック 5・6におけるシナリオ 1・2における予測結果

ブロック 5

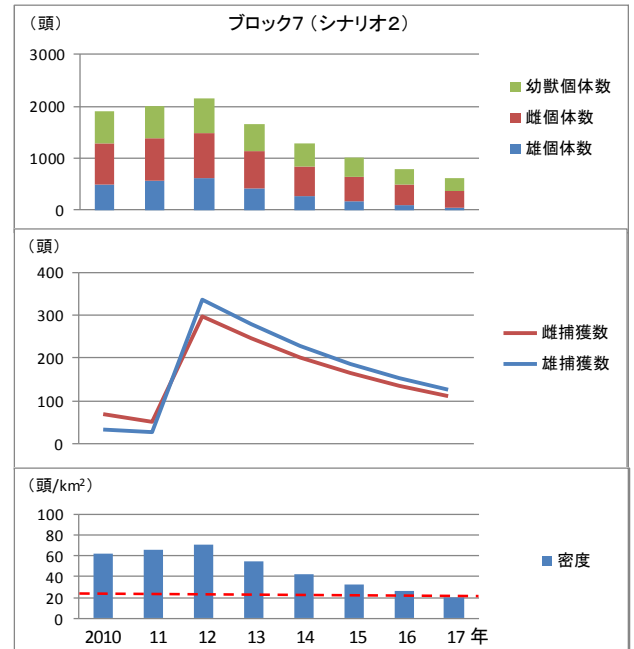
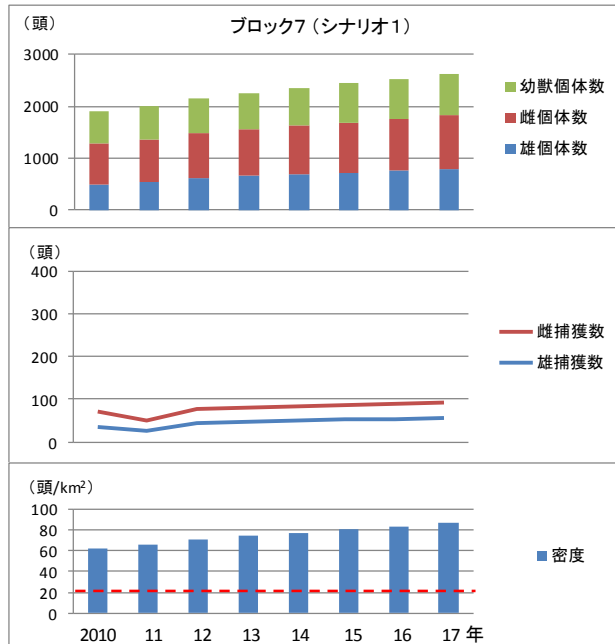


ブロック 6

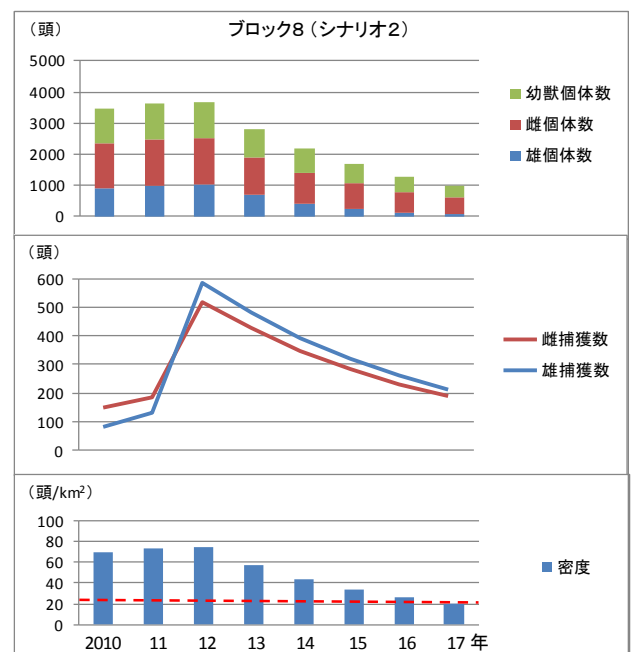
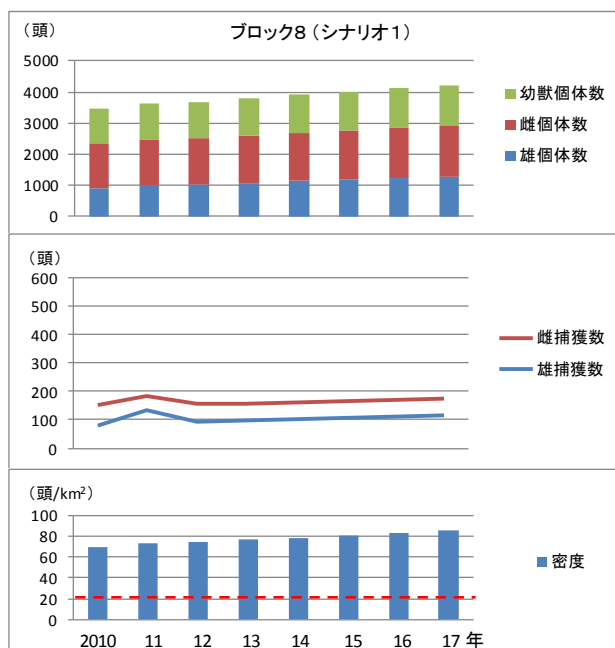


【参考資料】ブロック 7・8 におけるシナリオ 1・2 における予測結果

ブロック 7

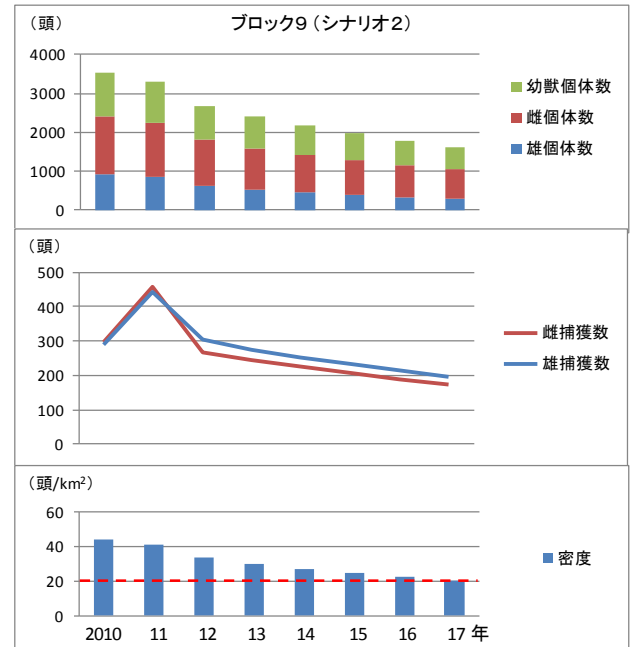
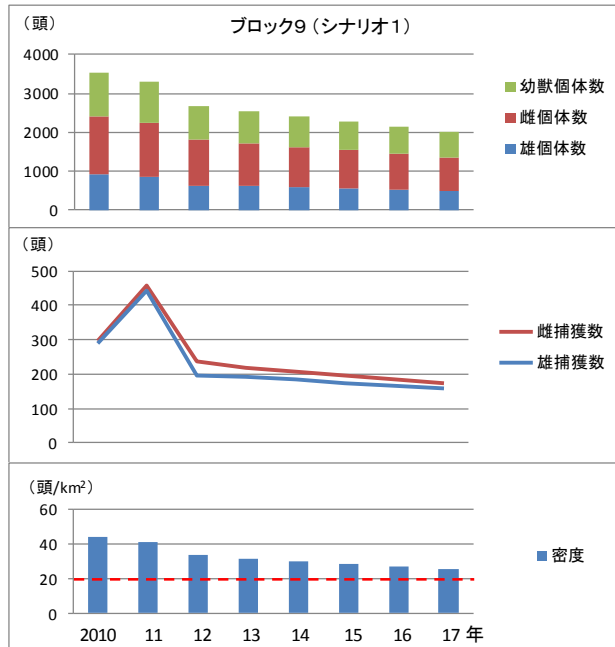


ブロック 8



【参考資料】ブロック 9・10におけるシナリオ 1・2における予測結果

ブロック 9



ブロック 10

