

まとめと考察

UAV レーザ計測技術は、100 点以上/m²の高密度点群データから、小面積の精密なデータを取得できることが特徴である。この技術を用いれば、上記の検証のように、任意の範囲の林分の樹高データを得ることで、収穫予想表と比較した際の相対的な林地ポテンシャルを推定することが可能である。さらには、下記に示すような樹木の様々な要素や環境的な指標を推定することが可能であるため、単木単位で地位指数を比較することで樹木の成長に効果がある因子の推定にも利用可能であると考えられる。

○Lidar データで推定可能な指標

人為的要因のパラメータ

- ・ 樹冠表面積
- ・ 樹冠投影面積
- ・ 樹冠長
- ・ 樹冠長率
- ・ 樹冠体積
- ・ 単位面積あたり
立木密度
- ・ 相対幹距比

枝打ちの指標

間伐の指標

環境的要因のパラメータ

- ・ 傾斜
- ・ 湿潤度 (TWI)
- ・ 尾根谷度 (TPI)
- ・ 標高
- ・ 斜面方位

現在の収穫予想は樹高と林齢の関係から樹木の成長ポテンシャルを推定するものであるが、航空レーザ、UAV レーザといった Lidar 技術により、上記に示すような林齢以外の樹木の成長に影響を及ぼす可能性のある因子の抽出が技術的に可能となっていることから、樹高と林齢に+ α の因子を加えた新たな成長予測モデルの作成について、今後検証する必要があると考えられる。

しかしながら、UAV レーザ計測は機材のイニシャルコストが高く、機材運搬の負担も大きい。また計測できる単位時間当たりの面積も約 30ha/日と航空レーザ計測と比較した際に非常に小さいため、森林分野における用途は限られることから、技術の普及には長い時間を要すると考えられる。そのため、UAV レーザ、および航空レーザで取得可能な樹木の成長に影響を及ぼすと考えられる指標の整理や、航空レーザデータで再現が可能な UAV レーザデータの指標の許容値の検証など、UAV レーザデータを広範囲の森林に適用する検証も必要である。

2.9 新たな成長予測モデルの作成

本業務では既存の収穫予想表の集約化の検討、各種データと既存収穫予想表との比較、既存航空レーザデータとの比較などを踏まえ、委員へのヒアリングを実施し、新たな成長予測モデル（以下「成長モデル」という。）の検討を実施した。また本業務を踏まえて、今後の国有林業務における新たな成長モデルの作成についての検討を実施した。

2.9.1 新たな成長モデルにかかる課題の整理

成長モデル作成に関し、各検討や委員からのヒアリングを踏まえ、検討すべき課題を整理した。なお、下記課題は今後長期にわたって検討が必要なものも含む。

▶ 検討課題1：収穫予測表の集約化・細分化にかかる規格統一の必要性

本業務では北海道・東北地区をモデルとして現行の収穫予想表の集約化について検討を行った。各成長式を当てはめた際には同じ成長となるものがあり、同一の成長式が使用されていると推察されるものが見受けられた。

しかし、北海道森林管理局管内の場合、これらの式は旧営林局時代の収穫予想表が、森林管理局への統合に際しそのまま受け継がれたものであり、また東北森林管理局管内では山形・秋田を除き各都道府県別の区画に分かれているものが多い。

収穫表の地位区分は特等から3等などの区分としつつ、特等がないものや、上・中・下などの区分としつつ、さらに細分化されるものもあるなどの違いがあるが、これが現時点での各種森林計画の立案や素材生産などに活用する国有林システムに対応したものであるのかについては、再度検討する必要がある。

▶ 検討課題2：成長モデル作成のプロセスの明示

本業務で検討した各収穫予想表は、多くが昭和40年代に調整されたものであるが、成長予測式の調整に関してその作成プロセスは不明な点が多い。特に成長予測式の各パラメータについてはどのような検討を行ったのかという資料が少ない。ただし、当時は多くの職員による現地調査が実施されており、多くのサンプルがあることにより、精度を確保しているものと考えられる。

また、現行の各収穫表はその調整時の時代背景を負う部分が多い。例えば、同樹種・同地域でも古くからの林業地で作成された収穫予想表と拡大造林地域で調整された収穫表は成長が大きく異なる。これらの時代背景も留意する必要がある。

今後の成長モデル作成に関しては、そのプロセスを明示し、モデルの妥当性についても広く議論ができるようするほか、標準地などのデータの積み重ねについても担当部署に一元化し、必要な検討ができるように整備する必要がある。

▶ 検討課題3：林齢を考慮しない成長モデルの検討

各収穫予想表の集約化検討や新たな成長モデルの調整時に最も課題となるのは林齢情報の精度である。特に基礎調査では樹木サイズに対しての林齢情報に疑問があるものが多く、作成した式に対しての精度検証ができたものは少なかった。これに対して本業務では航空レーザデータと航空写真より林齢情報

と樹木サイズを目視で確認して対応を行った。

委員に対するヒアリングでは、今後林齢情報に頼らない成長モデルの検討も必要ではないかとの意見もあった。今後、林齢が高齢級化する中ではその情報が散逸し、より情報の精度が不確かなものになると想定されることから、今後、この課題に対する対応策を検討する必要がある。

▶ 検討課題4：新しい技術を取り入れた各種調査の検討

現在の収穫予想表の精度は人力による膨大な現地調査の積み上がりにより成り立っているが、林分が多様化するにつれ、現地調査の必要な箇所数は増加すると考えられる。

しかし、現状の体制ではこの要求に応えるためには、従来の標準地調査法に加え、航空レーザや UAV、衛星によるリモートセンシングなど新たな技術による森林解析が必要になる。各技術の長短を踏まえ、必要な技術を取り入れる必要がある。

2.9.2 新たな成長モデルの作成地域および作成方法

上記の検討課題を踏まえて、新たな成長モデルの作成を検討した。林野庁担当者より、林野庁が使用している国有林システムの修正により対応できるようにすることとの指示があったことから、この条件を第一とした。まず、作成対象樹種・作成地域であるが、各検討結果により各地域でデータの整備状況にかなり差があり、現状で全ての地域にて同精度でモデルを作成することは困難であった。

このため、より多くのデータが整備されている地域を対象として、①基礎調査、②国有林収穫調査、③大規模（1,000km²以上）航空レーザ計測を実施し、樹頂点の解析を実施しているもの、④本業務で UAV レーザを行っている地域について検討を実施することとし、結果として網走西部・東部地域のカラマツ・トドマツ、山形（最上森林管理署管内）のスギについて新たな成長モデルを検討した。

成長モデルの作成にはサンプルデータ数の積み上げが必要である。それぞれのデータには欠点があり①樹高精度と林齢情報の精度が低いこと、②はサンプル数が少ないこと、林齢により偏りがみられること、③林齢情報の精度が低いこと、④小面積であることの課題がある。

特に林齢データの精度が成長モデルの精度に大きく関係するため、航空写真およびレーザで樹高サイズや森林調査簿の林齢との位置関係が把握できるものに関しては、2.5.5 に示したような全て目視で確認を実施した。この確認が可能なのは航空レーザ計測部分であったため、地位指数曲線に使用したものは全て航空レーザ計測によるデータとなった。

次に調整方法について検討する。国有林システムを修正できるように対応するという条件を満たすためには、現行利用されている収穫予想表の各値を修正する方法が最も適切である。また、成長モデルの作成には、そのプロセスを明確にするほか、なるべく簡便なものでなければならない。

これより過去の事例より作成手法を検討し、上記条件を踏まえた手法として、森林総合研究所北海道支所が 2005 年に北海道地方版カラマツ人工林収穫予想表を作成した手法を実施した。

本作成手法のフローについて図 2.9.2-1 に示す。



図 2.9.2-1 スギ収穫予想表（東北）と基礎調査データに基づく成長解析
 （出典：北海道地方版カラマツ人工林収穫予想表 2005 森林総合研究所北海道支所）

本方式では樹齢と樹高の散布図から地位指数曲線を算出し、以降平均樹高と平均直径、平均直径と平均幹材積というようにフローの前後にて相関式を作成し、最終的に ha 当たりの幹材積までを求める。このとき航空レーザデータを用いる場合は全てが上層樹高となるため、これを平均樹高として解析を実施することとした。

2.9.3 新たな成長モデルの作成 その1（網走東部・西部カラマツ）

林齢を確認した林小班の平均樹高から地位指数のガイドカーブを設定した。設定手法は 2.5.1 に示した手法に基づき実施した。作成した地位指数曲線について下記に示す。

$$H_t = 0.3 + 25.265149(1 - \text{EXP}(-0.0618778 \cdot t))^{1.7385279}$$

このとき、 t は林齢、 H_t は林齢 t における上層高、 A, B, C は推定するパラメータ、 EXP は指数関数をそれぞれ示す。また、苗高を付与するものとして、林齢 0 次点で 0.3m を付加した。収穫予想表と対比したものを図 2.9.3-1 に示す。

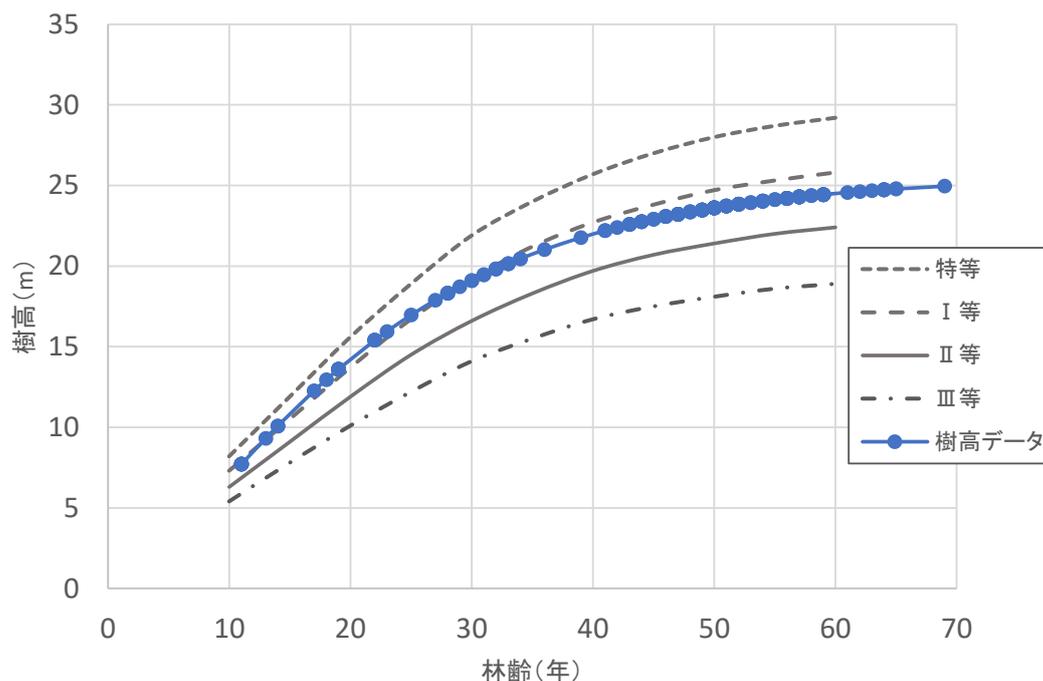


図 2.9.3-1 地位指数曲線 (カラマツ網走東部・西部)

次に平均樹高と平均 DBH について散布図を作成し、その相関をとる (図 2.9.3-2)。

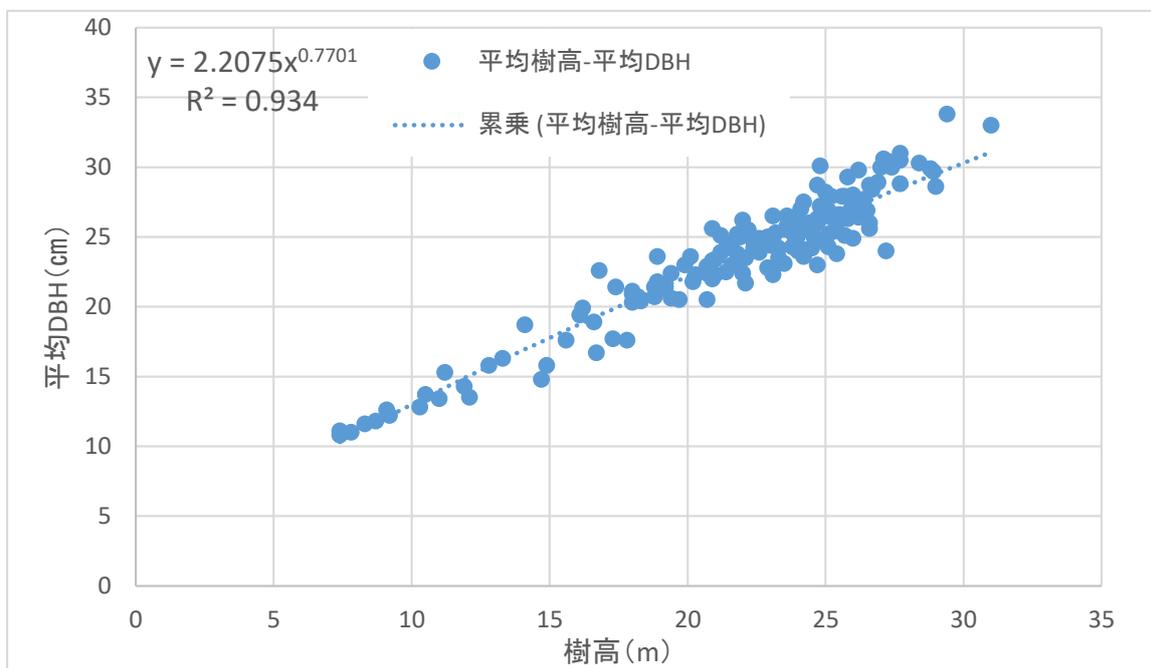


図 2.9.3-2 平均樹高-平均 DBH 相関 (カラマツ網走東部・西部)

平均 DBH と平均幹材積について散布図を作成し、その相関をとる (図 2.9.3-3)。

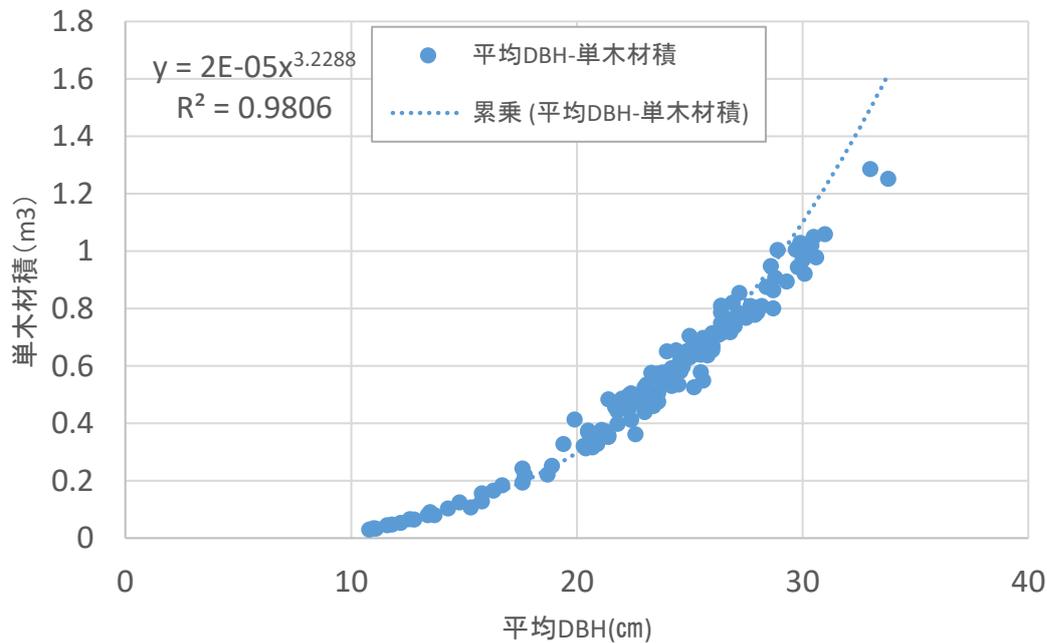


図 2.9.3-3 平均 DBH-平均単木材積相関 (カラマツ網走東部・西部)

平均直径と立木本数について散布図を作成し、その相関をとる (図 2.9.3-4)。

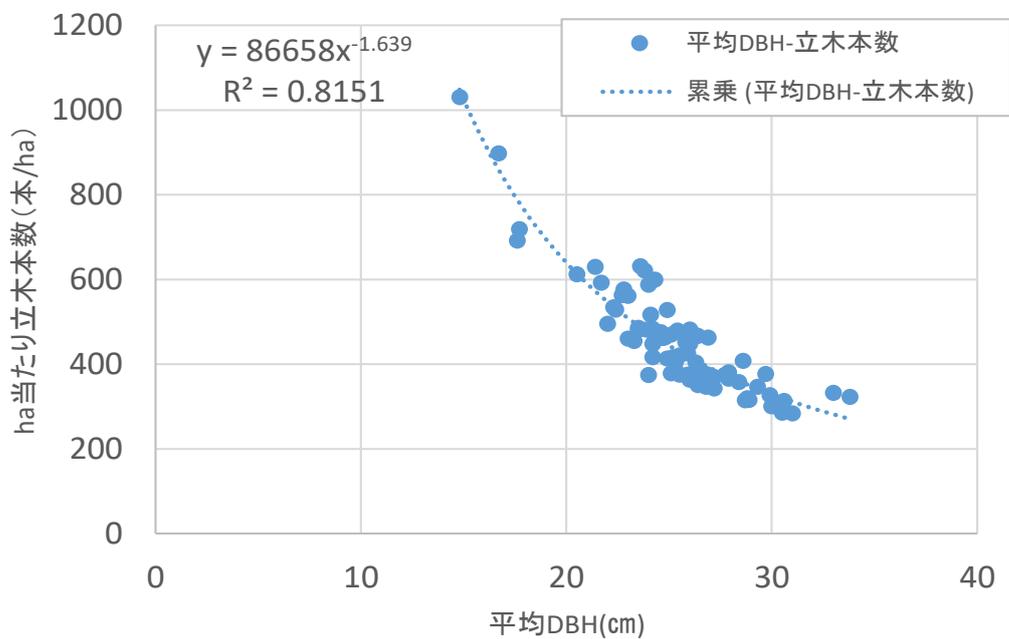


図 2.9.3-4 平均 DBH-立木本数相関 (カラマツ網走東部・西部)

以上の解析を地位指数別を実施し、各値を取りまとめた。このとき地位区分は現行の収穫予想表に従うものとした。また、参考資料として森林総合研究所北海道支所が 2005 年に作成した収穫予想表 (以下森林総合研究所資料) を追加した。

表 2.9.3-1 各成長予測数値の比較 (網走東部・西部地域 カラマツ)

局	元資料	地位	樹種	既存収穫予想表					新たな成長モデル数値					森林総合研究所資料					
				林齢	胸高直径	樹高	本数	幹材積	単木材積	(モ)直径	(モ)樹高	(モ)本数	(モ)幹材積	(モ)単木材積	(森)直径	(森)樹高	(森)本数	(森)幹材積	(森)単木材積
北海道	予想表(網走西部・東部)	特等	カラマツ	5			2,100			5.6	3.3				4.6	5.3			
				10	10.2	8.2	1,560	62	0.04	11.1	8.1				9.8	10.4	2,659	141	0.05
				15	14.5	11.9	1,130	122	0.11	15.7	12.8				14.3	14.5	1,478	198	0.13
				20	18.8	15.6	801	182	0.23	19.4	16.8				18.1	17.8	1,027	244	0.24
				25	23.0	18.9	579	229	0.40	22.2	20.1	537	240	0.45	21.2	20.5	801	282	0.35
				30	26.4	21.9	459	270	0.59	24.4	22.6	463	277	0.60	23.8	22.8	670	312	0.47
				35	29.1	24	390	304	0.78	26.0	24.5	417	307	0.74	25.9	24.5	587	337	0.57
				40	31.3	25.7	347	331	0.95	27.1	26.0	387	330	0.85	27.6	26.0	530	357	0.67
				45	32.9	27	319	351	1.10	28.0	27.1	368	347	0.94	29.0	27.2	491	373	0.76
				50	34.0	28	301	366	1.22	28.7	27.9	354	360	1.02	30.2	28.1	462	387	0.84
				55	34.9	28.7	288	377	1.31	29.1	28.5	345	369	1.07	31.1	28.9	440	397	0.90
60	35.5	29.2	280	385	1.38	29.5	29.0	338	376	1.11	31.9	29.6	424	406	0.96				
北海道	予想表(網走西部・東部)	I等	カラマツ	5			2,100			4.9	2.8				3.8	4.5			
				10	9.1	7.3	1,620	47	0.03	9.8	6.9				8.2	8.8			
				15	13.0	10.5	1,240	97	0.08	13.8	10.8				11.9	12.2	1,981	167	0.08
				20	16.7	13.7	945	152	0.16	17.1	14.2				15.0	15.1	1,376	206	0.15
				25	20.2	16.7	714	197	0.28	19.5	17.0	664	196	0.29	17.6	17.4	1,073	238	0.22
				30	23.2	19.2	567	232	0.41	21.4	19.1	571	226	0.40	19.7	19.3	898	264	0.29
				35	25.7	21.2	481	261	0.54	22.8	20.8	515	250	0.49	21.5	20.8	786	285	0.36
				40	27.5	22.7	428	284	0.66	23.9	22.0	478	269	0.56	22.9	22.0	711	302	0.42
				45	29.0	23.8	394	302	0.77	24.6	22.9	454	283	0.62	24.1	23.0	657	316	0.48
				50	30.0	24.7	371	315	0.85	25.2	23.6	437	293	0.67	25.0	23.8	619	327	0.53
				55	30.8	25.3	356	324	0.91	25.6	24.1	425	301	0.71	25.8	24.5	590	336	0.57
60	31.3	25.8	346	331	0.96	25.9	24.5	417	307	0.74	26.4	25.0	568	343	0.60				
北海道	予想表(網走西部・東部)	II等	カラマツ	5			2,100			4.6	2.6				3.5	4.1			
				10	8.0	6.3	1,680	34	0.02	9.1	6.3				7.3	8.0			
				15	11.4	9.1	1,360	74	0.05	12.9	9.9				10.7	11.1	2,340	152	0.06
				20	14.6	11.9	1,100	121	0.11	15.9	12.9				13.5	13.7	1,626	188	0.12
				25	17.5	14.5	890	164	0.18	18.2	15.4	748	174	0.23	15.8	15.8	1,268	216	0.17
				30	20.1	16.6	721	196	0.27	19.9	17.4	644	201	0.31	17.7	17.5	1,061	240	0.23
				35	22.2	18.3	612	220	0.36	21.2	18.9	581	223	0.38	19.3	18.9	929	259	0.28
				40	23.8	19.7	544	239	0.44	22.2	20.0	540	239	0.44	20.6	20.0	840	274	0.33
				45	25.1	20.7	501	254	0.51	22.9	20.8	512	251	0.49	21.6	20.9	777	287	0.37
				50	26.0	21.4	472	265	0.56	23.4	21.5	493	261	0.53	22.5	21.6	731	297	0.41
				55	26.6	22	456	273	0.60	23.8	21.9	480	268	0.56	23.2	22.2	697	305	0.44
60	27.1	22.4	439	279	0.64	24.1	22.3	471	273	0.58	23.7	22.7	671	312	0.46				
北海道	予想表(網走西部・東部)	III等	カラマツ	5			2,100			3.85	2.06				2.3	3.2			
				10	6.8	5.4	1,740	23	0.01	7.64	5.0				4.8	6.4			
				15	9.8	7.8	1,480	53	0.04	10.83	7.9				7.0	8.9			
				20	12.6	10.1	1,265	90	0.07	13.35	10.4				8.9	11.0	2,403	150	0.06
				25	14.9	12.2	1,080	127	0.12	15.29	12.3	992	132	0.13	10.4	12.6	1,874	173	0.09
				30	17.0	14.1	925	157	0.17	16.76	13.9	854	153	0.18	11.7	14.0	1,568	192	0.12
				35	18.7	15.5	809	180	0.22	17.86	15.1	769	169	0.22	12.7	15.1	1,373	207	0.15
				40	20.1	16.7	720	196	0.27	18.67	16.0	715	182	0.25	13.5	16.0	1,241	219	0.18
				45	21.1	17.5	662	208	0.31	19.28	16.7	679	191	0.28	14.2	16.7	1,148	229	0.20
				50	21.9	18.1	624	217	0.35	19.73	17.2	654	198	0.30	14.8	17.3	1,080	237	0.22
				55	22.5	18.6	599	224	0.37	20.06	17.6	636	204	0.32	15.2	17.8	1,030	244	0.24
60	22.9	18.9	581	228	0.39	20.30	17.8	624	208	0.33	15.6	18.2	992	249	0.25				

この表を検討するにあたって留意する事項は以下のとおりである。なお、この留意事項は後述するトドマツ、スギでも同様である。

- ① 若齢林の本数、材積については成長モデル、森林総合研究所資料では空欄となっている。これは式作成時の若齢林の資料が少ないため、式の補正ができないことにあり、今後若齢林のデータについても追加する必要がある。
- ② 成長モデルのガイドカーブは今回 1 等としているが、既存収穫予想表ではガイドカーブが 1 等ではない可能性に留意する。
- ③ 成長モデルに使用したデータは市町村航空レーザ計測の計測結果であるため、森林管理局全体ではなく、市町村の区分であることに留意する。このときカラマツ・トドマツは北海道滝上町、スギは山形県金山町である。これについては今後データの蓄積が必要である。

これら留意事項を踏まえて検討を実施する。各数値の樹高の比較は I 等をガイドカーブとみた場合、成長モデルが最も樹高が低い結果となった。ただし、3 モデルの結果は例えばカラマツ特等 60 年生では最も高いモデルと低いモデルの差は 60 センチ、また 1 等ではその差は 1m30cm となった。

本数については各モデルの差が出ており、カラマツ特等 60 年生の区分では ha 当たり 144 本の差があった。これが幹材積および単木材積に大きく作用しており、本数の少ない収穫表は単木材積が大きく、本数が多い収穫表はその逆となっている。

森林総合研究所資料では収穫予想表の作成に利用した資料として、全道のカラマツ人工林のデータ 2717 箇所について調査したものであり、全道を網羅したものと見えるが、ha 当たりの本数は特等 60 年生で 424 本と最も大きく、全道の一般的な ha あたり本数は当初収穫予想表が想定したものよりも上回っているといえる。網走西部・東部に属する滝上町も ha 当たり 338 本であり、収穫予想表を上回っていた。

現行の収穫予想表の問題点として、カラマツでは既存の文献では、現行の収穫予想表の各数値が現状の森林の情報と適合していないことが指摘され、他の調査報告（例えば、平成 26 年度森林吸収源インベントリ情報整備事業等）でも樹高成長は既存の曲線と比較して上回る結果となっている。しかし、今回の検討結果の範囲内では高齢級であっても大きな差とはならなかった。

しかし単木材積の差は大きなものとなっており、現行の収穫予想表と比較して、現在の林分から調整した成長モデルおよび森林総研資料では本数が多く、想定している施業体系と現実の施業結果との差に乖離が生じており、これが既存の収穫予想表が「合わない」となる一つの原因になっていると考えられる。

林分の齢級が高齢級化するにつれて、間伐の履歴が増え、その結果林分の履歴は多様なものとなるが、現状の収穫予想表の想定ではこのような履歴の多様性までは表現ができない。また、委員へのヒアリングを通じて明らかになったことは、例えば間伐が想定より遅れている林分に対して、間伐を実施した際の林分の肥大成長過程と、標準的な間伐より多い回数が行われている林分での間伐後の肥大成長過程は、単木レベルでのモデル化はまだされておらず、そのため伐採というインパクトがその後の成長過程にどのような影響を与えるかはまだ不明な部分が多く、今後のデータの蓄積が重要である。

2.9.4 新たな成長モデルの作成 その2（網走東部・西部トドマツ）

2.9.2の作成手法により、同様に網走東部・西部地域のトドマツ人工林を対象に成長モデルを作成した。作成した各相関図について、地位指数曲線を図2.9.4-1に、平均樹高-平均DBHを図2.9.4-2に平均DBH-単木材積を図2.9.4-3に、平均DBH-立木密度を図2.9.4-4に示す。

$$Ht = 0.3 + 25.7253269(1 - \text{EXP}(-0.02893872 \cdot t))^{1.143109419}$$

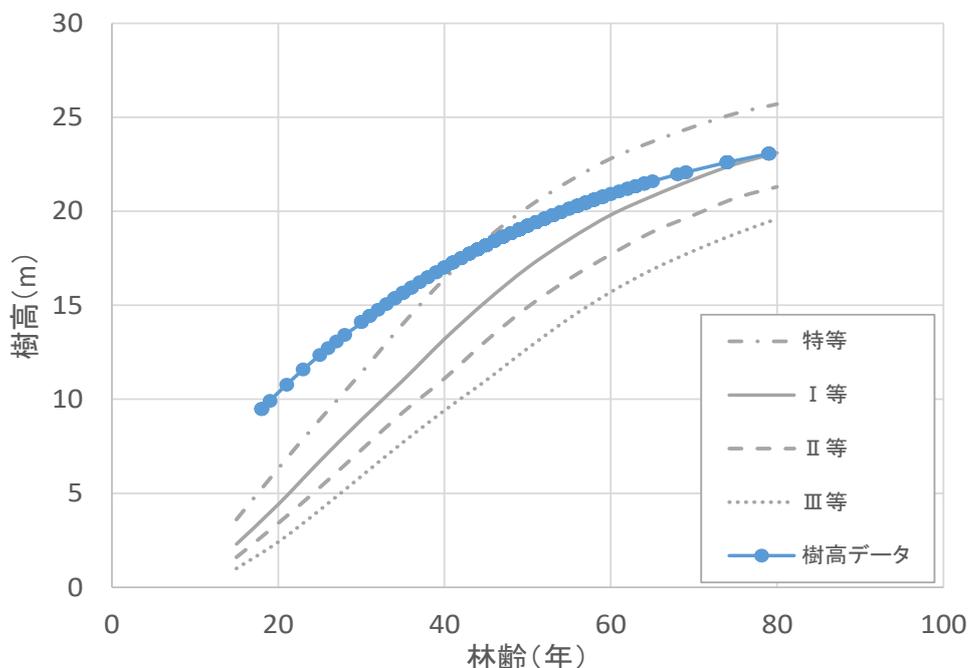


図 2.9.4-1 地位指数曲線（トドマツ網走東部・西部）

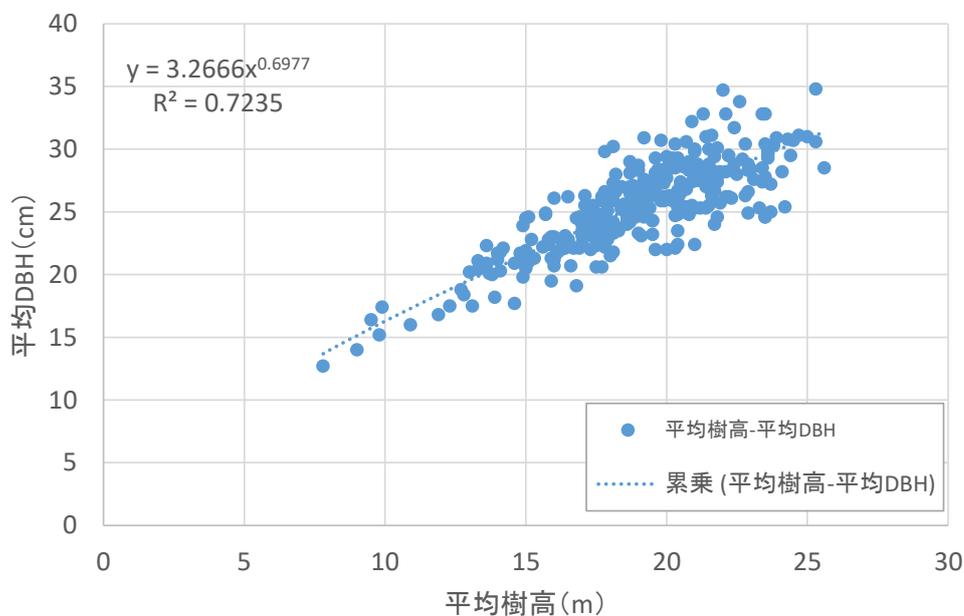


図 2.9.4-2 平均樹高-平均 DBH 相関（トドマツ網走東部・西部）

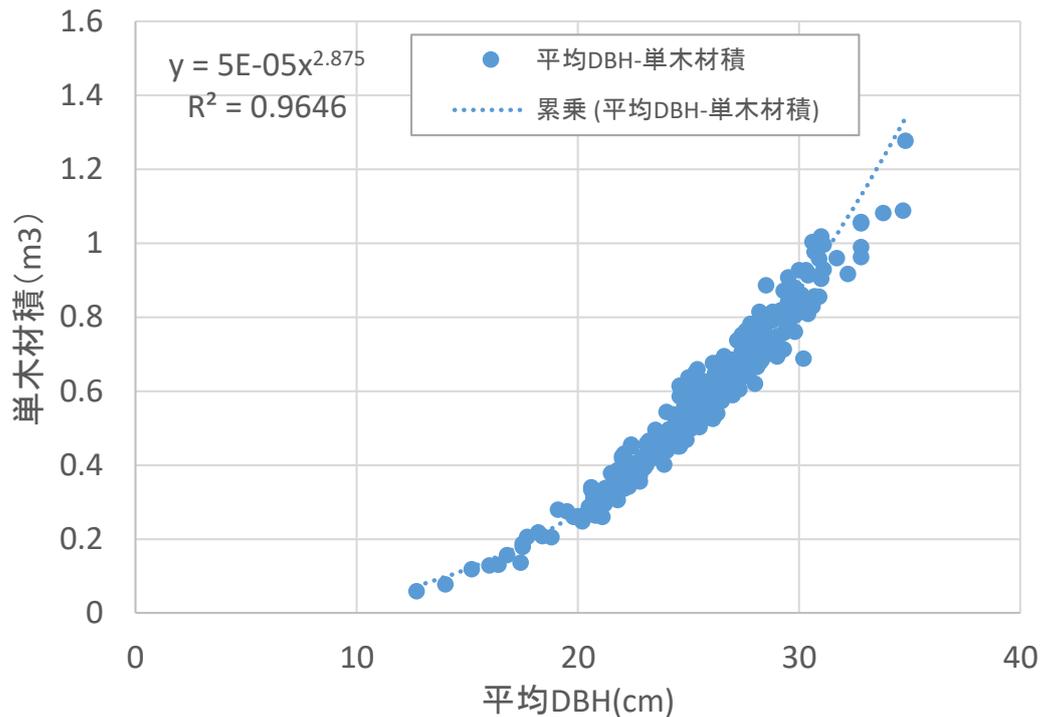


図 2.9.4-3 平均 DBH-平均単木材積相関 (トドマツ網走東部・西部)

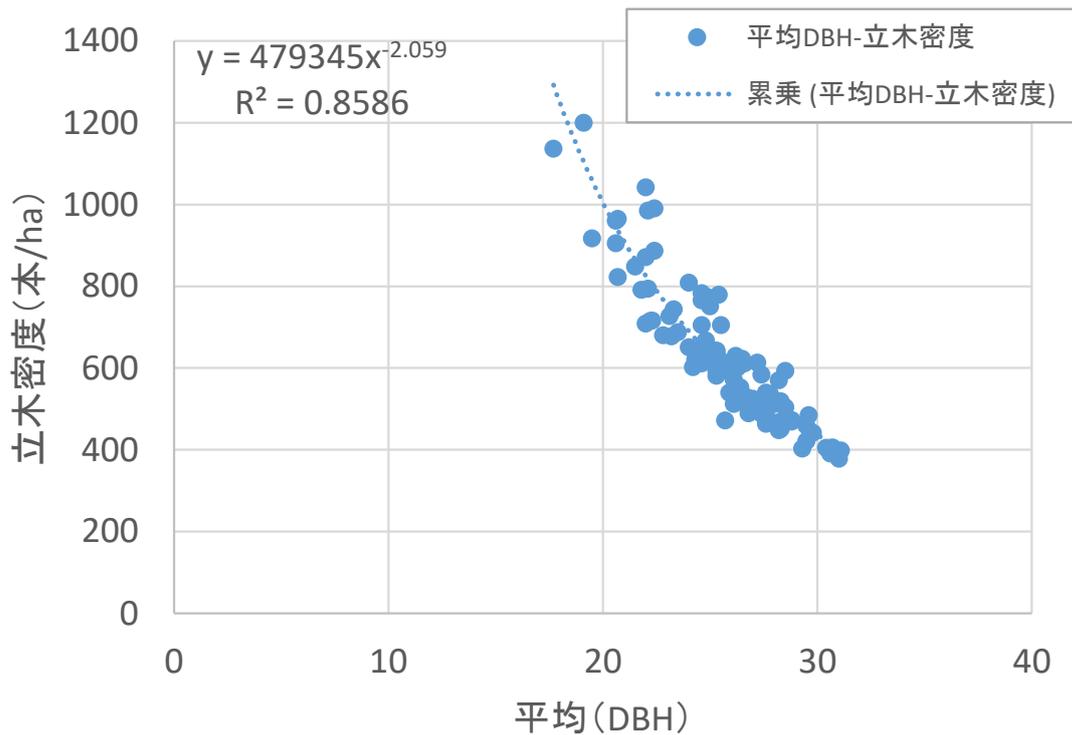


図 2.9.4-4 平均 DBH-立木本数相関 (トドマツ網走東部・西部)

地位区分は現行の収穫予想表に従うものとした。また、他の機関が設定した参考資料として（地独）北海道立総合研究機構林業試験場が作成した収穫予想システムによるデータを記載した。地位区分は国有林地位区分が特等のとき私有林区分Ⅰ等地A（地位指数は20）とし、以下1等はⅡ等地（18）、2等はⅢ等地（システム上の地位指数は16）、3等はⅣ等地（14）とした。また、植栽本数はシステム標準値である2,500本/haとした。これより取りまとめた成長予測値を表 2.9.4-1 に示す。

表 2.9.4-1 各成長予測数値の比較（網走東部・西部地域トドマツ）

局	元資料	地位	既存収穫予想表					新たな成長モデル数値					北海道林業試験場システム資料							
			樹種	林齢	胸高直径	樹高	本数	幹材積	単木材積	(モ)直径	(モ)樹高	(モ)本数	(モ)幹材積	(モ)単木材積	(森)直径	(森)樹高	(森)本数	(森)幹材積	(森)単木材積	
北海道	予想表(網走西部・東部)	特等	トドマツ	5				2,430			7.4	3.2				1.0	1.9	2,499		
				10				2,050			11.7	6.3				4.4	5.1	2,481		13
				15	6.5	3.6	1,730	13	0.01	15.2	9.0					7.8	8.5	2,408		64
				20	10.4	6.3	1,490	48	0.03	18.0	11.6					11.2	11.6	1,910		128
				25	14.1	8.9	1,230	101	0.08	20.4	13.8	967	280	0.29	14.6	14.3	1,432	190	0.13	
				30	17.7	11.4	1,005	164	0.16	22.4	15.8	798	303	0.38	17.6	16.6	1,003	214	0.21	
				35	21.2	14	813	226	0.28	24.1	17.5	687	321	0.47	20.3	18.5	702	213	0.30	
				40	24.8	16.4	641	277	0.43	25.5	19.0	610	337	0.55	22.8	20.0	702	283	0.40	
				45	27.9	18.5	534	324	0.61	26.7	20.3	553	350	0.63	24.6	21.2	702	342	0.49	
				50	30.7	20.2	464	365	0.79	27.8	21.5	511	361	0.71	26.5	22.2	491	287	0.58	
				55	32.9	21.6	416	401	0.96	28.7	22.5	479	370	0.77	27.8	22.9	491	325	0.66	
				60	34.9	22.8	382	431	1.13	29.4	23.4	453	379	0.84	28.9	23.5	491	355	0.72	
				65	36.4	23.7	357	457	1.28	30.1	24.1	433	386	0.89	29.7	24.0	491	379	0.77	
				70	37.7	24.5	339	478	1.41	30.7	24.8	416	392	0.94	30.5	24.3	344	283	0.82	
				75	38.8	25.2	325	496	1.53	31.2	25.3	403	397	0.98	31.1	24.6	344	298	0.87	
80	39.7	25.7	314	510	1.62	31.6	25.8	392	401	1.02	31.6	24.9	344	309	0.90					
北海道	予想表(網走西部・東部)	I等	トドマツ	5				2,430			6.9	2.9			0.0	1.7	2,500		0	
				10				2,050			10.9	5.6				3.8	4.6	2,486		10
				15	4.5	2.3	1,730	4	0.00	14.1	8.1					7.0	7.6	2,432		47
				20	7.8	4.4	1,490	20	0.01	16.7	10.3					10.0	10.5	1,904		94
				25	11.2	6.7	1,285	51	0.04	18.9	12.3	1134	263	0.23	13.2	12.9	999	102	0.10	
				30	14.4	8.9	1,125	96	0.09	20.7	14.1	936	284	0.30	16.4	15.0	999	179	0.18	
				35	17.3	11	980	149	0.15	22.3	15.6	806	301	0.37	19.4	16.6	700	191	0.27	
				40	20.2	13.2	845	201	0.24	23.6	17.0	715	316	0.44	21.7	18.0	700	251	0.36	
				45	22.8	15.2	725	249	0.34	24.7	18.2	649	328	0.51	24.0	19.1	490	226	0.46	
				50	25.5	17	613	288	0.47	25.7	19.2	600	339	0.56	25.7	19.9	490	267	0.55	
				55	27.9	18.5	536	323	0.60	26.5	20.1	562	348	0.62	27.0	20.6	490	300	0.61	
				60	29.9	19.8	482	353	0.73	27.2	20.9	532	355	0.67	28.0	21.2	343	230	0.67	
				65	31.6	20.8	442	380	0.86	27.9	21.6	508	362	0.71	29.0	21.6	343	251	0.73	
				70	33	21.7	414	403	0.97	28.4	22.2	488	368	0.75	29.8	21.9	343	267	0.78	
				75	34.3	22.5	392	422	1.08	28.8	22.7	473	372	0.79	30.4	22.2	343	280	0.82	
80	35.3	23.1	375	438	1.17	29.2	23.1	460	376	0.82	30.8	22.4	343	290	0.85					
北海道	予想表(網走西部・東部)	II等	トドマツ	5				2,430		0.00	6.6	2.7				1.5	2,500			
				10				2,050		0.00	10.4	5.3				3.3	4.1	2,491		6
				15	3.4	1.6	1,730	2	0.00	13.5	7.6					6.1	6.8	2,452		33
				20	6.2	3.4	1,490	10	0.01	16.0	9.7					8.7	9.3	2,382		82
				25	9.3	5.3	1,330	29	0.02	18.1	11.6	1237	254	0.21	11.1	11.5	1,906	125	0.07	
				30	12.2	7.3	1,200	62	0.05	19.8	13.3	1021	274	0.27	13.4	13.3	1,429	152	0.11	
				35	15	9.3	1,075	104	0.10	21.3	14.7	879	291	0.33	15.2	14.8	1,429	208	0.15	
				40	17.5	11.1	965	151	0.16	22.6	16.0	780	305	0.39	16.9	16.0	1,000	192	0.19	
				45	20	13.1	850	197	0.23	23.7	17.1	708	317	0.45	18.3	17.0	1,000	234	0.23	
				50	22.3	14.9	750	240	0.32	24.6	18.1	654	327	0.50	19.3	17.7	1,000	268	0.27	
				55	24.6	16.4	650	274	0.42	25.4	18.9	613	336	0.55	20.2	18.3	700	210	0.30	
				60	26.6	17.7	575	304	0.53	26.1	19.7	580	343	0.59	21.0	18.8	700	233	0.33	
				65	28.4	18.9	521	331	0.64	26.7	20.3	554	350	0.63	21.7	19.2	700	250	0.36	
				70	30	19.8	481	354	0.74	27.2	20.9	533	355	0.67	22.1	19.5	700	264	0.38	
				75	31.3	20.7	451	375	0.83	27.6	21.3	516	360	0.70	22.5	19.7	700	275	0.39	
80	32.4	21.3	427	392	0.92	28.0	21.8	502	364	0.73	22.8	19.9	700	284	0.41					
北海道	予想表(網走西部・東部)	III等	トドマツ	5				2,430			5.99	2.39			0.0	1.3	2,500			
				10				2,050			9.49	4.6				2.7	3.6	2,494		4
				15	2.4	1	1,730	1	0.00	12.27	6.7					5.2	5.9	2,468		22
				20	4.7	2.4	1,490	4	0.00	14.56	8.5					7.5	8.1	2,419		56
				25	7.4	4.1	1,360	15	0.01	16.46	10.2	1499	236	0.16	9.5	10.0	1,905	84	0.04	
				30	10.1	5.9	1,250	36	0.03	18.07	11.6	1237	254	0.21	11.3	11.6	1,905	130	0.07	
				35	12.8	7.7	1,140	67	0.06	19.43	12.9	1065	270	0.25	13.0	12.9	1,429	140	0.10	
				40	15.2	9.4	1,045	105	0.10	20.59	14.0	946	283	0.30	14.3	14.0	1,429	179	0.13	
				45	17.5	11	945	145	0.15	21.58	15.0	858	294	0.34	15.3	14.8	1,429	212	0.15	
				50	19.6	12.7	855	186	0.22	22.43	15.8	793	303	0.38	16.2	15.5	1,000	172	0.17	
				55	21.6	14.3	770	223	0.29	23.16	16.6	742	311	0.42	17.0	16.0	1,000	195	0.19	
				60	23.5	15.7	690	256	0.37	23.78	17.2	703	318	0.45	17.6	16.5	1,000	213	0.21	
				65	25.3	16.9	623	284	0.46	24.32	17.8	671	324	0.48	18.1	16.8	1,000	227	0.23	
				70	26.9	17.9	567	308	0.54	24.78	18.3	646	329	0.51	18.4	17.0	1,000	239	0.24	
				75	28.3	18.8	525	329	0.63	25.18	18.7	625	333	0.53	18.7	17.2	1,000	248	0.25	
80	29.5	19.6	492	347	0.71	25.53	19.0	608	337	0.55	18.9	17.4	1,000	255	0.25					

2.9.5 新たな成長モデルの作成 その3 (東北(山形・最上・真室川地区) スギ)

2.9.2の作成手法により、同様にスギ人工林を対象に成長モデルを作成した。作成した各相関図について、地位指数曲線を図2.9.4-1に、平均樹高・平均DBHを図2.9.4-2に平均DBH・単木材積を図2.9.4-3に、平均DBH・立木密度を図2.9.4-4に示す。

$$Ht = 0.3 + 22.630380(1 - \text{EXP}(-0.079516 \cdot t))^{3.497105}$$

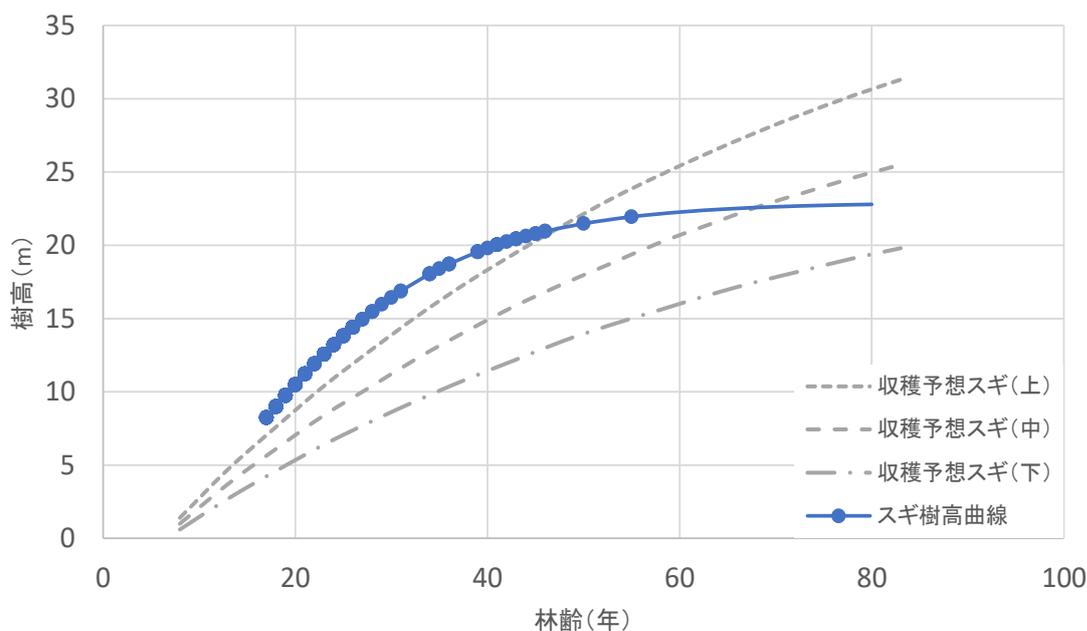


図 2.9.5-1 地位指数曲線 (スギ・山形)

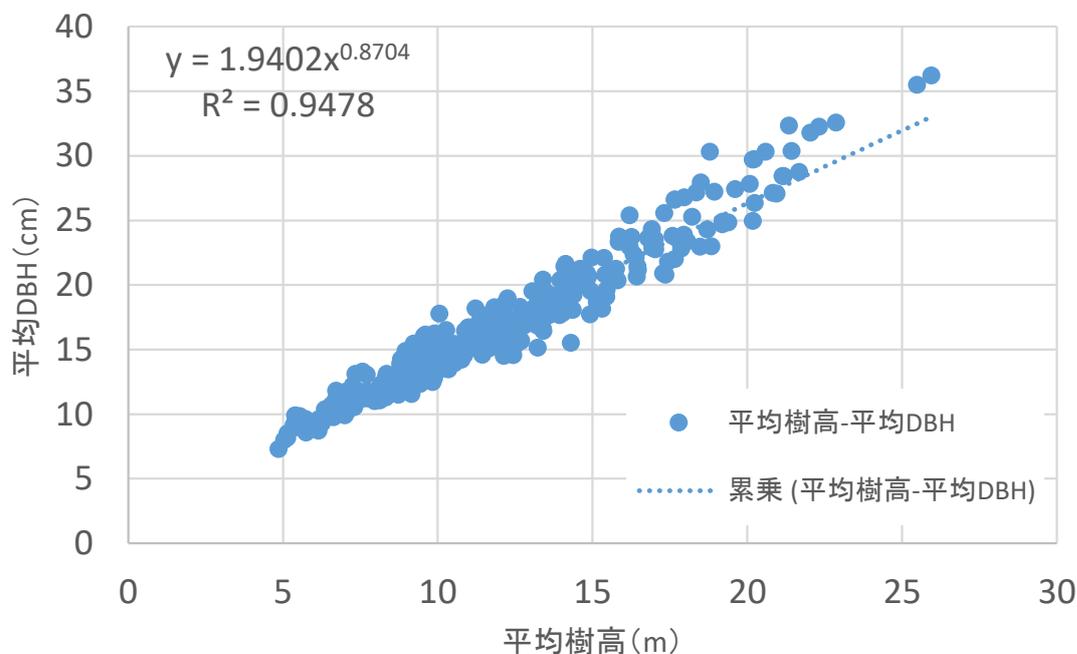


図 2.9.5-2 平均樹高・平均DBH 相関 (スギ・山形)

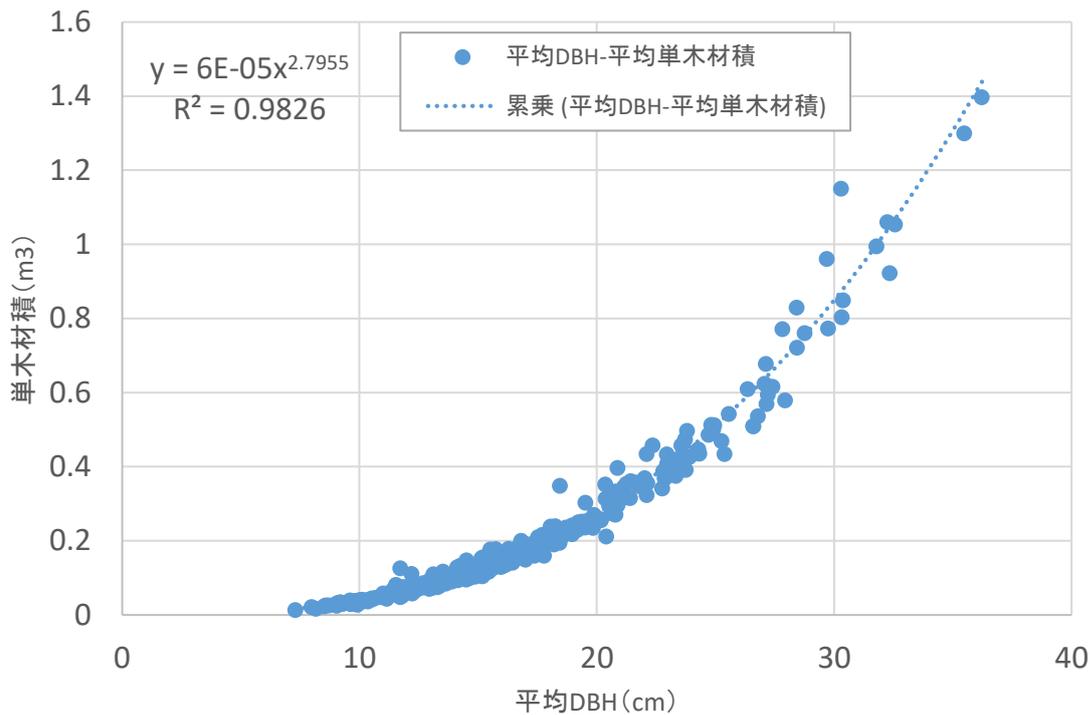


図 2.9.5-3 平均 DBH-平均単木材積相関 (スギ・山形)

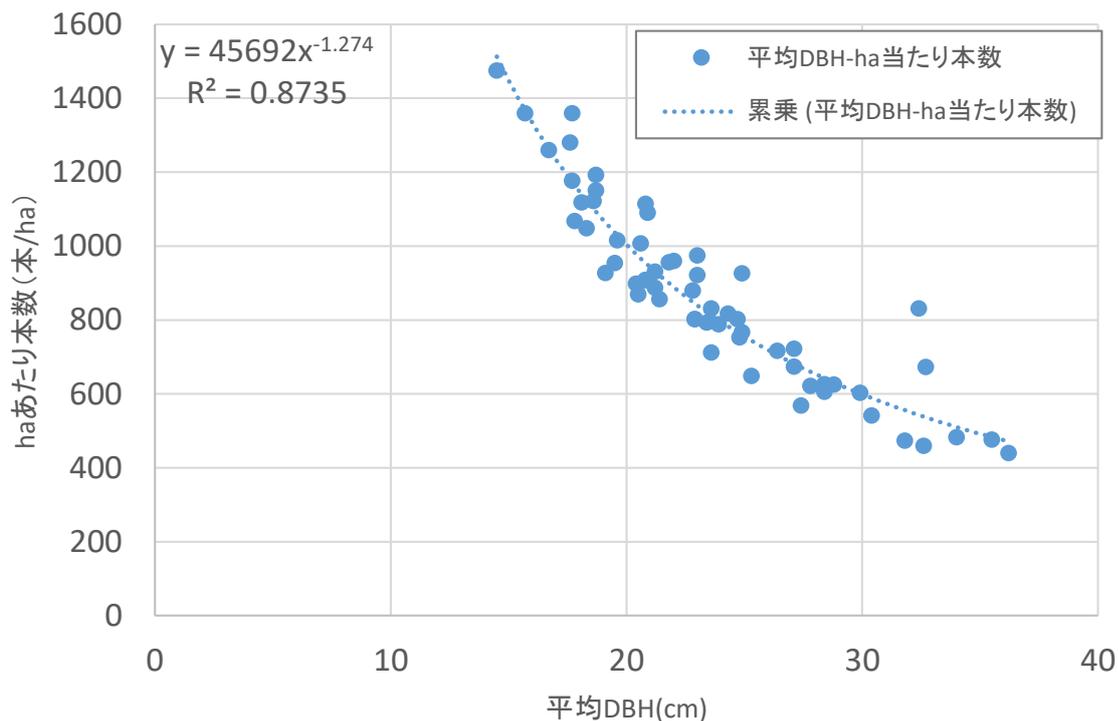


図 2.9.5-4 平均 DBH-立木本数相関 (スギ・山形)

以上の解析を踏まえ、新たな成長モデル（案）を作成した。地位区分は現行の収穫予想表に従うものとした。山形地域のスギの場合は比較対象なる最新の収穫予想表などが無いことから、他の比較はできなかった。スギの場合は、カラマツ・トドマツと比較して成長に大きな乖離が見られているが、今回林齢の補正ができた林分が資料の都合上 46 年生までに限られ、精度の高い高齢級林分のデータがないことが原因であり、今後データを補完することにより、各式の修正を行う必要がある。

表 2.9.5-1 各成長予測数値の比較 (山形・スギ)

局	元資料	地位	既存収穫予想表						新たな成長モデル数値						
			樹種	林齢	胸高直径	樹高	本数	幹材積	単木材積	(モ)直径	(モ)樹高	(モ)本数	(モ)幹材積	(モ)単木材積	
東北	予想表(山形県)	上	スギ	8	3.3	1.4	3,000	3		3.6	2.0				
				13	8	4.7	2,645	40		8.5	5.5				
				18	11.8	7.6	1,987	122	0.06	13.8	9.5				
				23	15.2	10.4	1,579	198	0.13	18.5	13.3				
				28	18.3	12.9	1,299	276	0.21	22.2	16.4	882	306	0.35	
				33	21.3	15.3	1,094	352	0.32	24.9	18.8	761	365	0.48	
				38	24.1	17.5	937	425	0.45	26.8	20.5	691	409	0.59	
				43	26.9	19.5	814	492	0.60	28.2	21.7	648	442	0.68	
				48	29.5	21.4	714	553	0.77	29.2	22.5	621	465	0.75	
				53	32	23.2	633	608	0.96	29.8	23.1	604	480	0.80	
				58	34.4	24.8	565	657	1.16	30.3	23.5	593	491	0.83	
				63	36.8	26.3	508	700	1.38	30.6	23.8	586	499	0.85	
				68	39.1	27.7	460	737	1.60	30.8	23.9	581	504	0.87	
				73	41.3	29	418	769	1.84	30.9	24.1	577	507	0.88	
				78	43.4	30.2	383	797	2.08	31.0	24.1	575	509	0.89	
83	45.4	31.3	352	820	2.33	31.1	24.2	574	511	0.89					
東北	予想表(山形県)	中	スギ	8	2.6	1	3,000	1		3.3	1.8				
				13	6.7	3.7	3,000	23		7.8	5.0				
				18	9.9	6.1	2,439	74	0.03	12.7	8.6				
				23	12.7	8.4	1,974	143	0.07	16.9	12.1				
				28	15.3	10.4	1,655	203	0.12	20.3	14.8	986	268	0.27	
				33	17.6	12.4	1,421	263	0.19	22.8	17.0	850	319	0.38	
				38	19.9	14.2	1,243	321	0.26	24.6	18.5	772	359	0.46	
				43	22	15.9	1,101	377	0.34	25.9	19.6	724	387	0.53	
				48	24	17.4	987	430	0.44	26.7	20.4	694	407	0.59	
				53	25.9	18.8	893	478	0.54	27.3	20.9	675	421	0.62	
				58	27.7	20.2	815	524	0.64	27.7	21.2	663	430	0.65	
				63	29.4	21.4	748	565	0.76	28.0	21.5	654	437	0.67	
				68	31.1	22.6	691	603	0.87	28.2	21.7	649	441	0.68	
				73	32.6	23.6	642	637	0.99	28.3	21.8	645	444	0.69	
				78	34.1	24.6	600	668	1.11	28.4	21.8	643	446	0.69	
83	35.5	25.5	563	696	1.24	28.5	21.9	641	448	0.70					
東北	予想表(山形県)	下	スギ	8	1.8	0.6	3,000	0	0.00	3.0	1.6				
				13	5.3	2.7	3,000	11	0.00	7.1	4.4				
				18	7.9	4.6	3,000	39	0.01	11.5	7.7				
				23	10.2	6.4	2,535	82	0.03	15.4	10.8				
				28	12.2	8	2,160	135	0.06	18.4	13.3	1115	231	0.21	
				33	14.1	9.5	1,887	178	0.09	20.7	15.2	962	276	0.29	
				38	15.8	10.9	1,677	220	0.13	22.3	16.6	873	309	0.35	
				43	17.5	12.2	1,512	262	0.17	23.5	17.5	819	334	0.41	
				48	19	13.5	1,377	302	0.22	24.3	18.2	786	351	0.45	
				53	20.4	14.6	1,267	340	0.27	24.8	18.7	764	363	0.48	
				58	21.7	15.6	1,174	375	0.32	25.2	19.0	750	371	0.50	
				63	22.9	16.6	1,095	409	0.37	25.4	19.2	740	377	0.51	
				68	24.1	17.5	1,028	440	0.43	25.6	19.4	734	381	0.52	
				73	25.2	18.3	970	470	0.48	25.7	19.5	730	383	0.53	
				78	26.2	19.1	919	497	0.54	25.8	19.5	727	385	0.53	
83	27.2	19.8	874	522	0.60	25.8	19.6	725	386	0.53					

2.10新たな成長モデルにかかる、今後の展開について

本業務では、既存の収穫予想表の集約可能性の検討、様々な森林調査からみた収穫予想表の適合性、民有林の収穫予想表との比較、UAV や航空レーザ計測データを用いた情報収集の検討などを通し、新たな成長モデルとして、スギ、カラマツ、トドマツに関して新たな収穫予想表を作成して提示を行った。

今回実施した地域は北海道および東北森林管理局内であり、今後、全国の各森林管理局への適用を広げていく上でいくつかの知見を得ることができたため、今後の展開として記載した。

2.10.1 適切な成長区分の実施

収穫予想表を作成するにあたり、対象樹種の成長の度合いを把握して優劣の区分を行うことは、精度の上で非常に重要である。この点において現行の収穫予想表は、当時の資料がなく、地位区分の根拠が不明となっているほか、先述の通り、営林局の統合時に、そのまま収穫予想表が利用されるなど、根拠が希薄となっている事例が見受けられる。そのため、収穫予想表を作成する地域をどのように区分するかを再度検討する必要がある。

委員会の検討および委員からのヒアリングでは、一つの因子として地位指数をベースとした地位区分とすべきとの意見がある。ある樹齢での樹高の比較を行う地位指数は、その簡便さにおいて現場の理解を得やすいほか、地域間の比較を行いやすい。例えば北海道では、カラマツでは全市町村において地位テーブルが設定されており、これに基づいた成長予測がなされている。

国有林の森林調査簿では、地位等級は現等級区分として記載されているが、収穫予想表との関係で不明な部分があるほか現地との乖離や手入力データが混在することにより、全体の整合が取れないものとなっている。このため、収穫予想表の前段階として地位等級の整合を検討する必要がある。

地位等級の設定は、現地調査を基に実施するが、近年はリモートセンシング技術の発達により、広範な地形データの把握や樹高データの収集・解析が可能となってきており、これらを基に区分を設定することが検討できる。

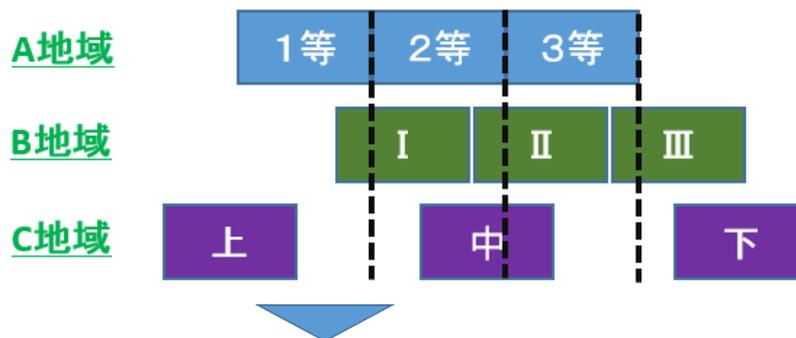
これらの技術を基に地位指数を検討する取り組みは、各研究機関などでも実施されている。例えば、航空レーザやドローンなどで取得したデータと土壌や気温などの因子をスコア表として示し、ここから地位指数を推定する手法は、すでに多くの地域で試行されており、実際の森林管理に適用する取り組みが進んでいる。

スコア表はその対象となる因子の種類や要求精度により、地位指数の数値に差が現れるものと推定されるため、実際の解析に関してはデータの種類や精度・規模と、必要となる地位指数の精度が合致しているか、また、因子の種類などにも留意したのち解析を行う必要がある。

2.10.2 地位区分の整理・統合

収穫予想表を集約化する際には、その基準も統一しなければ各因子の整合性がとれない。特に課題となったのは地位区分である。本地位区分は1等、2等、3等、I、II、IIIなど様々な区分で分かれており、それぞれの整合性はないものとなっている。今後、図 2.10.2-1 に示すような統一的な地位区分を適用させるために現在の地位区分を整理する必要がある。なお、統一した地位区分となることにより、その丸太の成長度合いや樹高成長から見た場合の立木の評価なども併せて統一され、業務の効率化に繋がるといったような副次的効果が期待できる。

現行



整理・統合



図 2.10.2-1 地位区分の整理・統合のイメージ

2.10.3 樹形サイズに着目した収穫予想の検討

収穫予想表を運用する際の問題点として、林齢が不正確であることによる精度の低下が挙げられる。林分が高齢化するに従い、林齢情報は散逸しやすく、正確な地位指数が把握できる林分は今後減少すると推察される。

加えて、収穫予想表の基本となる従来の定性的な弱度間伐とは異なり、列状間伐や一定の利益を目的とした強度の搬出間伐などの様々な施業が展開され、当初想定された本数に差異が生じており、これが収穫予想表が現地と【合わない】とされている大きな要因となっている。

これらの課題への対処としては、収穫予想を使用する目的を明確にしつつ（例えば、各種森林管理にかかる成長予測など）、求められる業務への精度を明確にしつつ、樹木サイズや相対幹距など、林齢によらない因子を用いての森林管理への適用検討を提案する。