

## 日本の森林地域における公道も含めた路網整備の方向性\*

鈴木保志\*\*・吉村哲彦\*\*\*・長谷川尚史\*\*\*\*・有賀一広\*\*\*\*\*・斎藤仁志\*\*\*\*\*・  
白澤紘明\*\*\*\*\*・山崎真\*\*\*\*

## 1. はじめに

日本の森林面積の4割を占める人工林のおよそ半分が、一般的な主伐期である50年生を超えて本格的な利用期を迎えている(林野庁2021b)。資源の成熟と、利用間伐から主伐への移行に伴い集材対象木も大径化することとなり、集材システムや路網の対応が必要となってきた(鈴木ら2015, Nakazawa *et al.* 2019)。タワーヤーダ等大型の高性能林業機械を搬送・配置するため、また流通コストの低減に必要な大型の運材車両のためにも規格の高い林道の整備の必要性が高まっており、これを受けて2020年には林道規程の設計車両にセミトレーラが加えられる改定がなされた(林野庁2021b, c; 林野庁森林整備部整備課2021)。

しかし伐出の現場である山岳地の森林に至るまでの中山間地の公道には、いまだ狭隘部が多くあるというのが

現実の状況である。以降これを「公道隘路」と称する。山村の過疎に加えて、国全体でも今後さらなる人口減少が予想される中、地域の重要性が見直され、都市への一極集中から中山間地域を中心とする地方への分散定住が、持続可能な開発とならび耳目を集める状況となってきた。このような背景を受け、筆者らは2021年から科学研究費の補助を受けて、課題「持続可能な次世代分散定住社会のために今必要な森林地域の道路網整備の隘路はどこか?」への取り組みを開始した(日本学術振興会2021)。この問題意識は、日本の森林資源を次の世代に豊かなかたちで引き継ぐことができるよう適切に管理育成利用するとともに、森林に関わる産業を中山間地の経済基盤とするために、森林地域の公道隘路を解消し公道と林内路網をあわせて全体的な道路網整備を行うべきだ、というものである(図-1)。研究期間は4年間でま

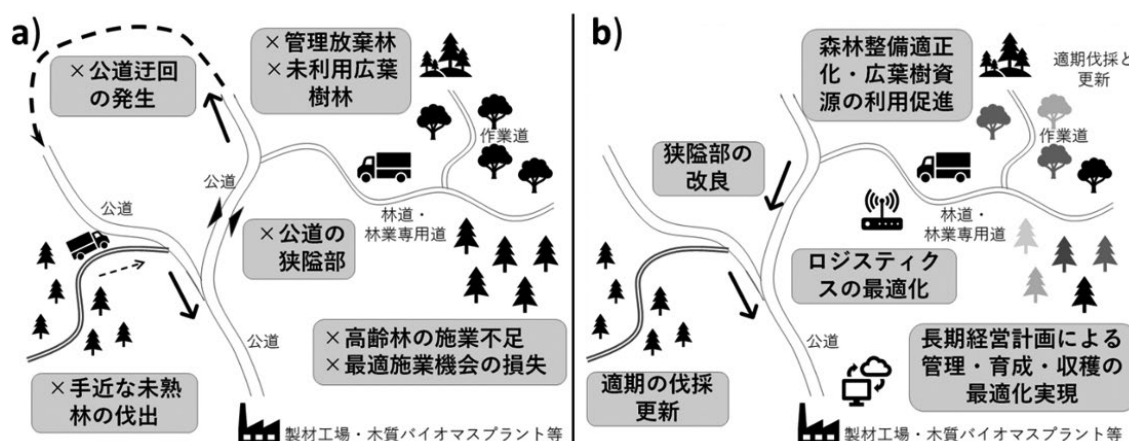


図-1 公道隘路のイメージ

(a) 山岳地域道路網の解決すべき諸問題, (b) 改良案の提案と効果の検証

2021年9月30日受付, 2021年12月22日受理

連絡先 (Corresponding author): 鈴木保志 (Yasushi Suzuki) Email: ysuzuki@kochi-u.ac.jp

\* Perspective of road network improvement including public roads over forested area in Japan

\*\* Yasushi Suzuki 高知大学教育研究部自然科学系農学部 Fac. Agric. Marine Sci., Kochi Univ., Nankoku 783-8502

\*\*\* Tetsuhiko Yoshimura 島根大学生物資源科学部 Fac. Life Envi. Sci., Shimane Univ., Matsue 690-8504

\*\*\*\* Hisashi Hasegawa 京都大学フィールド科学教育研究センター Field Sci. Edu. Res. Ctr., Kyoto Univ., Kyoto 606-8502

\*\*\*\*\* Kazuhiro Aruga 宇都宮大学農学部 Fac. of Agric., Utsunomiya Univ., Utsunomiya 321-8505

\*\*\*\*\* Masashi Saito 岩手大学農学部 Fac. of Agric. Iwate Univ., Morioka 020-8550

\*\*\*\*\* Hiroaki Shirasawa 森林総合研究所 For. and Forest Prod. Res. Inst., Tsukuba 305-8687

\*\*\*\*\* Shin Yamasaki 高知県立森林技術センター Kochi Pref. For. Tech. Ctr., Kami 782-0078

だ端緒についたところだが、予備調査の段階で新たな問題や課題も見えてきた。

そこで本総説では、まず日本における公道すなわち一般道路行政と、林道行政の変遷について振り返る。次に、諸外国の状況を踏まえたうえで、これから解決していくべき問題について考察することで、日本の森林地域における公道も含めた路網整備の方向性について議論する。

## 2. 一般道路行政と林道行政の変遷

### 2.1 戦後の道路整備

第2次世界大戦後、日本では道路修繕等の応急対策期を経て1952年に道路法が制定され、戦後の道路整備体制が確立されていった（日本道路協会 2018）。道路法制定前には道路はすべて国の営造物とされていたが、道路法では道路の種類が一級および二級公道、都道府県道、市町村道とされ、国道のみが国の営造物で都道府県道および市町村道はそれぞれ都道府県と市町村の営造物とされた（日本道路協会 2018）。すなわち、道路は一部の私道を除けばすべて国または地方自治体が管理する公共道路で、延長の80%以上が道路法の適用を受ける一般公共道路であるが、農道、林道、公園道、港湾施設としての道路、道路運送法に基づく自動車道等、他の法令の適用を受ける公共道路もある（姫野 2005）。

道路法にもとづき1958年に制定された道路構造令では、道路を高速自動車道および自動車専用道路（地方部が第1種、都市部が第2種）とそれ以外の一般道路（地方部が第3種、都市部が第4種）に大きく区分している（武市 2005）。種別毎に2～5種類の等級（上の級ほど設計速度が高い）が設けられ、計画交通量、国道・都道府県道・市町村道の別、および地形の状況（平地部・山地部）に応じて区分される（中村ら 2015）。「計画交通量」とは、対象路線を将来通行すると予測される自動車の（一般には年平均の）日交通量で、その路線の機能を反映してい

と思われる交通特性（他に大型車交通量やトリップ長など）の中でも道路の構造基準の決定に最も大きな影響を及ぼすものである（日本道路協会 2021a）。植下ら（2002）は、道路の計画・設計の際に基準とする交通量を「設計交通量」といい、マクロ的な計画には目標年次の年平均日交通量（annual average daily traffic, AADT または ADT と略称される）を用いる、としている。

表-1には「その他道路」の「地方部」である第3種の区分を示した。一般道路では車線数は2以上の交互通行が基本であり、車線の幅員は設計車両（普通自動車と小型自動車；林道規程（図-2）と同じく「普通自動車」はいわゆる大型トラックに相当する）に応じて等級に応じ普通道路と小型道路別に定められている（表-1）。林道は、1級で2車線のものを除き車線数は1で、設計速度は最大40 km/時であることから、表-1に示されている区分では第3種第5級に相当する。なお、道路構造令に定める設計車両におけるセミトレーラも林道規程におけるセミトレーラ（図-2）と同寸法（ただし道路構造令における名称は「セミトレーラ連結車」）で、設計車両にセミトレーラが含まれるのは幹線道路（第1種と第2種ではすべての等級、第3種と第4種では第1級）のみである（中村ら 2015）。「設計車両に含まれる」とは、法令によりその道路の規格で通行が保障されることを意味する。なお道路は基本的に設計車両に普通自動車が含まれる「普通道路」であるが、(1) 普通道路での整備が困難であること、(2) 自動車が沿道へアクセスする機能を持つ必要がない道路であること、(3) 当該道路の近くに大型の自動車が迂回できる道路があること、のすべての条件を満たす場合には、小型自動車（林道規程の「小型自動車」（長さ4.7 m、幅1.7 m）と同寸法）等のみを設計車両とする「小型道路」を適用できる（武市 2005）。この条件は、条文の詳細から、山岳地というより都市部の宅地や地方の集落などを想定しているものと思わ

表-1 流域別路網密度（単位：m/ha）

級別	設計速度 (km/時) **		計画交通量 (台/日)					車線の幅員 (m)
			20,000 以上	20,000 ~ 4,000***	4,000 ~ 1,500	1,500 ~ 500	500 未満	
第1級	80	60	国道・平地					普通道路 3.5 小型道路 3.0
第2級	60	50, 40	国道・山地	国道・平地				普通道路 3.25 小型道路 2.75
			県道、市道・平地					
第3級	60, 50, 40	30			国道・山地	国道、県道・平地		普通道路 3.0 小型道路 2.75
			県道、市道・山地		市道・平地			
第4級	50, 40, 30	20				国道、県道・山地		2.75
						市道・山地	市道・平地、山地	
第5級	40, 30, 20	-						市道・平地、山地 (車道のみ)****

注) 中村ら (2015), 日本道路協会 (2021a) より。\*: 高速自動車国道および自動車専用道路は第1種(地方部)と第2種(都市部)に、その他の道路は第3種(地方部)と第4種(都市部)に分けられる。表には第3種のみを記した。\*: 右欄の値はその他の状況によりやむを得ない場合に適用する。\*\*\*: 他の種では20,000 ~ 10,000と10,000 ~ 4,000に区分されているが第3種ではこの範囲でどの級も同じ区分のためまとめた。\*\*\*\*: 第3種の第5級は1車線で歩道等も設けられない。また小型道路が適用されることはなく普通道路のみ。

れる。

長期計画として道路整備五箇年計画があり、1954 年の第 1 次計画以降、第 12 次計画までが終了している（日本道路協会 2018）。それぞれの五箇年計画の改定理由は、第 2 次計画以降、高度経済成長に伴う道路交通量の増大（すなわち増大する計画交通量への対応）等が主であったが、1978 年の第 8 次計画以降は「地方定住」や「一極集中の是正」等、地方の整備を意識した言葉が見られるようになった（日本道路協会 2018）。

橋梁と道路における耐荷重の変遷を見てみると、1960 年前後に橋梁の車両荷重（1 軸の荷重を意味する）および車両制限令における「許可なく通行できる車両総重量」がともに 20 t となり、その後大量輸送の時代に沿うように後者では 1971 年に連結車が導入され、前者は 1993 年に 25 t に引き上げられている（表－2）（中村ら 2015）。連結車とはセミトレーラ（図－2）とフルトレーラを指す。フルトレーラは図－2 の普通自動車に牽引車両を連結させた構造の車両で一般に全長は 20 m 程度あるいはそれ以上あり、現在は道路構造令の設計車両に含まれていないが特別に許可された道路では走行可能になっている。

## 2.2 近年までの林道行政の変遷

戦後、伐採地の奥地化、集材機作業の長距離化に対して林道の必要性が急速に高まり、1955 年に林道規程が制定され 1958 年策定の国有林生産力増強計画では林道網計画が樹立された（酒井 2020）。『森林利用学序説』において上飯坂（1971）は、諸外国の事例も引いて系統的に林道と作業道網整備の必要性を論じた。引き続き林道の計画や設計についての専門書『林業土木学』において、上飯坂（1974）は林道の持つ機能として公道的機能と林業的機能の 2 つを挙げ、当時の山村地域に不足していた公道を補完する到達林道としての意義を明確に述べている。2.1 で触れたように、一般公道の道路整備五箇年計画において 1978 年からの第 8 次計画までは主に都市部の交通需要に追いつくための整備が重視されていたことから、当時は特に林道の公道的役割の必要性が高かったことが伺われる。後続の『新林業土木学』（上飯坂ら 1988）および『森林土木学』（小林ら 2002）では林道密度理論が紹介され、森林計画制度に基づく森林基盤整備計画に即して林道密度などの整備目標が論じられている。

表－2 橋梁の設計荷重等の変遷

年	橋梁の設計に用いる車両荷重		許可なく走行できる車両総重量の上限値**		
	政令等の名称	車両荷重の概要*	高速自動車国道	指定道路	その他の道路
1986	国県道の築造標準	規定なし	－	－	－
1919	道路構造令・街路構造令	7.875 t (国道)	－	－	－
1926	道路構造に関する細則案	12 t (1等橋)	－	－	－
1939	鋼道路橋設計示方書案	13 t (1等橋)	－	－	－
1956	鋼道路橋設計示方書	20 t (1等橋)	－	－	－
1961	↓	↓	－	－	20 t
1964	同上	同上	－	－	↓
1970	道路構造令	20 t	－	－	↓
1971	↓	↓	連結車 34 t その他 20 t	－	連結車 27 t その他 20 t
1972	道路橋示方書	20 t (1等橋)	↓	－	↓
1973	特定の路線にかかる橋、高架の道路等の技術基準について	43 t (湾岸道路、高速自動車国道、その他)	↓	－	↓
1983	道路橋示方書	20 t (1等橋) 43 t (特定の路線)	↓	－	↓
1990	同上	同上			
1993	道路橋示方書	25 t	連結車 36 t その他 25 t	連結車 27 t その他 25 t	連結車 27 t その他 20 t
	道路構造令	25 t			

注) 日本道路協会（2018）より。\*: 車両荷重の他に等分布荷重等があり、両者が組み合わされて橋梁が設計される。ここでは橋梁設計に用いる荷重が上昇していることを説明するために車両荷重だけが記載されている。  
\*\*: 車両制限令の規定。連結車にはセミトレーラ連結車またはフルトレーラ連結車が含まれる。すべての形状ではなく、特定の形状が指定されている。



この時期までは、建設費用とそれによって得られる費用削減効果を林道密度理論に基づいて最適化する「コストミニマム方式」により整備目標が定められていたが、2001年に閣議決定された「森林・林業基本計画」において、中欧に倣い、目的とする森林施業を実施するために物理的にどの程度の路網整備が必要かを算出する「距離基準方式」が用いられるようになった（吉岡 2020, 有賀 2021）。森林路網における道路の種類も、引き続き2009年の「森林・林業再生プラン」において、それまでの林道と作業道の2区分から、「林道」・「林業専用道」（林野庁 2021d, e）・「森林作業道」（林野庁 2021g）の3区分（林野庁 2021f）へと改められた。

林道には林業的機能が持たされているというものの、林道規程が適用される林道は「民有林国庫補助林道」（および国有林道）であり、基本的に公道の性格を持つ。すなわち、一般車両が通行可能であり、そのため林業的機能に必要な道上での伐出作業等は制限される。ゲート設置などの私的権利行使は可能という法的解釈は成り立つが、この私権は公共の福祉に従うことが求められることから濫用は許されない（酒井ら 2000）。公道的機能が高い林道では、開設後、県道や市町村道に移管される（実際に公道になる）場合もある（酒井・手島 1990）。これに対し、林業専用道は林道2級とほぼ同等の規格（積載量10 tのトラックが通行可能）を持つ林業のための道路、という性格付けがなされている。

このように、この改正により、林道がそれまで持っていた林業的機能の一部はその機能に特化した林業専用道が受け持つこととなり、役割分担としては公道的機能を受け持つのは林道、ということになった。ただし、林道は公道的性格を持つことにより制約を受けつつも林業的機能も依然として兼ね備えており、林業的機能を失った

わけではないことには注意する必要がある。

## 2.3 2020年の林道規程改定

流通コストの低減や機械の大型化に加えて「ドライバーファースト」等車両の通行性の改善も考慮し、2020年に林道規程が改定された（林野庁 2021c, 林野庁森林整備部整備課 2021）。通行性の改善については、路肩幅や縦断勾配等で特別な場合にのみ許されていた、標準より狭いあるいは急な値の特例が削除された点が挙げられる。大きな変更点は設計車両にセミトレーラ（図-2）が加わったことで、セミトレーラ対応の1種とそれ以外の2種という区分が新たに設けられた（表-3）。

セミトレーラの幅は普通自動車（いわゆる10 tトラック）と同じで2.5 mだが、連結部から後ろの車両を牽引する構造のため、普通自動車よりも内輪差が大きくなる。公道では道の等級や設計速度の関係から最小曲線半径は50 m程度以上となる場合が多いためセミトレーラでも曲線部の拡幅量は1 m程度以内に収まる場合が多いが、林道では地形が複雑な山地に対応できるよう最小の曲線半径は車両の最小回転半径である12 mまで認められており、このような場合には拡幅量が非常に大きな値になることもある（図-3）。なお、セミトレーラの内輪差を計算するためには、連結車と牽引車を繋ぐキングピンと牽引車の後車軸の間隔の値（オフセット、図-2）が必要（日本道路協会 2021b）だが、設計車両の寸法値にはその項目はない（オフセット0 m）。またフルトレーラは、車長は長い内輪差はセミトレーラより小さく、普通自動車に近いものとなる（社団法人全日本トラック協会 2008）。

## 3. 諸外国の状況

諸外国における林道や林内路網の整備状況については、これまで上飯坂（1971）、Dietz *et al.*（1984）、神崎・小林（1990）などで紹介されてきた。近年では酒井・吉田（2018a, b）が包括的に世界の林道と林業の状況を解説し、ニュージーランドについては山田（2020a）が詳しい。

2020年9月から定期的に行われている林道に関するウェビナー（IUFRO 2021; 鈴木 2021）のヨーロッパに関

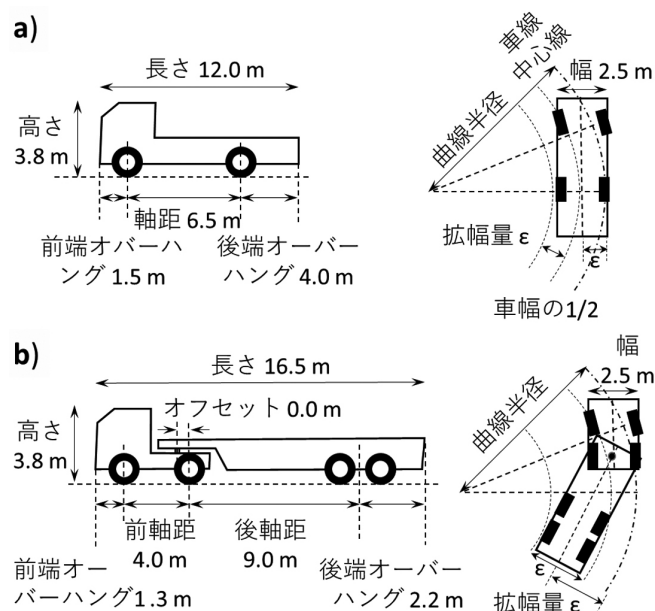


図-2 設計車両としての普通自動車・セミトレーラ  
(a) 普通自動車, (b) セミトレーラ

表-3 林道の等級区分

種類	等級*	設計車両	車道幅員 (m) **	設計速度 (km/時) ***
第1種	1級	セミトレーラ	4.0	40, 30, 20 (30, 20)
	2級	セミトレーラ	3.0	30, 20 (20, 15)
第2種	1級	普通自動車	4.0	40, 30, 20 (30, 20)
	2級	普通自動車	3.0	30, 20 (20, 15)
	3級	小型自動車	2.0	20 (20, 15)

注) \*: 1級には2車線のものと1車線のものがある。2級と3級は1車線のみ。\*\*: 第1種および第2種の1級は2車線で車道幅員は2.75 m。\*\*\*: 括弧なしは幹線, 括弧内は支線・分線。

する報告 (Borz 2020) によると、日本と異なりほとんどの国で林道は私道扱いになっている。道の規格に関して、オーストリア以外は、最小曲線半径と最急縦断勾配が、日本よりそれぞれ大きく、小さい傾向である。路網密度の現状は、ドイツとオーストリアのみ 40 ~ 50 m/ha (Borz (2020) では不明とされていたフィンランドも酒井・吉田 (2018b) の情報から概算すると両国と同程度)、他国は 10 m/ha 前後で、この現状に対する認識がドイツ以外はオーストリアも含めて路網密度が不足しているとしている点は興味深い。酒井・吉田 (2018a, b) で紹介されている欧州諸国のうち詳細な車両規格が記されている例として、スロベニアでは 5 軸フルトレーラ (総重量 40 t) (酒井・吉田 2018a), アイルランドでは 6 軸アーティキュレート式で最大総重量 46 t (酒井・吉田 2018b) との記述がある。Borz (2020) が映像で紹介したルーマニアの運材車両もフルトレーラであった。

アメリカ北西部では、林道は、“low volume roads” (LVR) として認識され、施工されている (Lyons 2020)。

LVR は、大きな軸荷重を伴うが少ない交通量 (原語は “annual average daily traffic”, ADT, で植下ら (2002) の「年平均日交通量」と同義; 一般的に 400 台/日以下) に対して設計される (Keller and Sherar 2003, 酒井・吉田 2018a)。

ニュージーランドでは運材車両の大型化が進み、車両総質量の制限が 44 t から 9 軸で 64 t にまで増大しており、林道の建設費は伐出される材 (m<sup>3</sup> あたり単価を設定) の販売でまかなう (Visser and Harvey 2021)。

#### 4. 解決すべきと考えられる諸問題

##### 4.1 公道隘路

2.1 で概観したように、戦後の復興期を経て日本は全国で公道整備が進み、基本的に公道は普通自動車 (10 t トラック) が走行できる規格となっている。しかし林業の現場である中山間地では 10 t フル規格の大型トラックが満足に通行できる公道は少ない。筆者らが各地の現場で見分している現状では、いわゆる 8 t 車あるいは 6 t

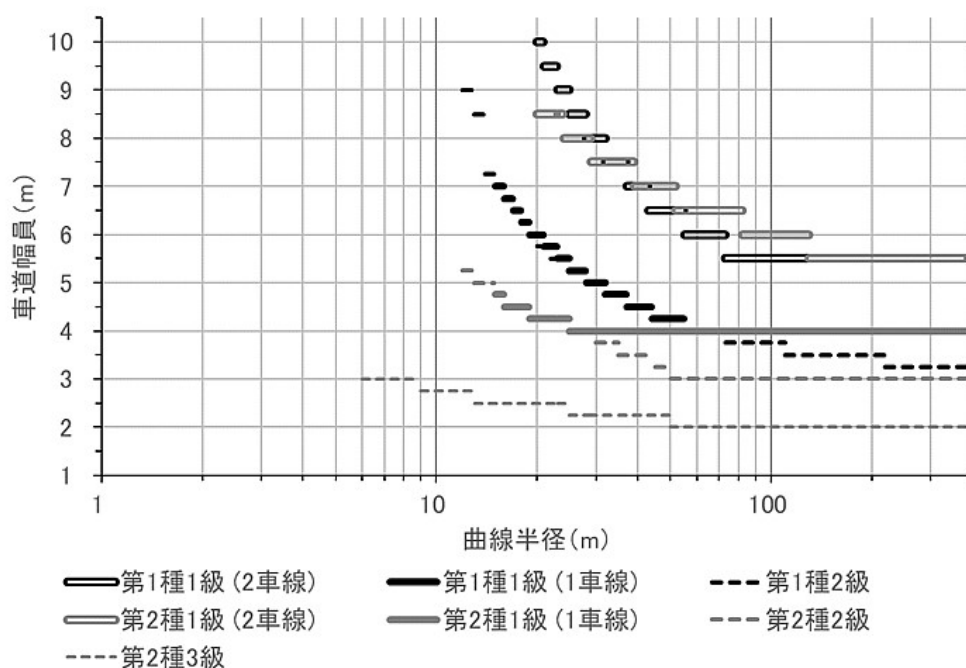


図-3 普通自動車・セミトレーラの曲線部における車道幅員と拡幅量

注) 標準的車道幅員 (表-3) に曲線半径に応じた拡幅量を加えたものが実際の車道幅員となる。

全幅員は、これに両側の路肩 (1車線の林道では基本的に片側 0.50 m) が加わる。

表-4 普通自動車相当でやや小型の市販大型トラックの寸法等の諸元

メーカー	積載量 (kg)	全長 (mm)	全幅 (mm)	荷台長 (mm)	ホイールベース (軸距) (mm)	最小回転半径 (m)	車両総質量 (kg)
A 社	6,200 ~ 6,400	7,275 ~ 8,925	2,255 ~ 2,480	5,300 ~ 6,650	4,060 ~ 5,160	6.5 ~ 8.0	10,585 ~ 10,985
B 社	6,400	6,840 ~ 9,440	2,290 ~ 2,470	4,600 ~ 6,700	3,810 ~ 5,210	6.5 ~ 8.5	10,780 ~ 10,940
B 社	8,500 ~ 9,000	7,235 ~ 9,440	2,290 ~ 2,470	5,300 ~ 7,200	4,350 ~ 5,540	7.2 ~ 9.6	13,205 ~ 13,710

注) 日野自動車株式会社 (2021), いすゞ自動車株式会社 (2021), 三菱ふそうトラック・バス株式会社 (2021), UD トラック株式会社 (2021) を参考に、詳細諸元が示されていた 2 社の製品から抽出して集計した。

車などのひと回り積載量が小さいトラックが運材用に使われている場合が多い。これらの車両は、全長、軸距、最小回転半径など 10 t 車（図－2 の普通自動車）より数割小さい（表－4；日野自動車株式会社 2021, いすゞ自動車株式会社 2021, 三菱ふそうトラック・バス株式会社 2021, UD トラックス株式会社 2021）ため、道幅や曲線部の拡幅に余裕が少ない道路での通行性が高い。一方、積載量も本来通行できるはずの 10 t 車（普通自動車）より数割小さいため、運搬効率は低くなる。公道隘路の解消のためには、第一にこのような現状の把握が必要である。

こうした実態は 1. で触れた科研費の研究で今後客観的に明らかにしていきたいと考えているところであるが、現時点において聞き取り等で把握した例では、県道等においても 8 t クラスのトラックでも通行できない区間があり、そのような区間について管轄の行政に改良を依頼しても、公式な記録では通行可能な規格となっている、あるいは過去に公費により通行可能となるような改良を行った記録がある、などのため行政側でも動けないという事例があった。日本の行政の無謬性が足かせとなっているとも考えられる例である。戦後の混乱期に、厳密には規格を満たさないが無理に公道に昇格させたと思われるような箇所もある一方で、地域により事情は異なるようだが、そうした公道（宅地や集落へのアクセスのため特例で低い規格で開設されたものもある）をいったん廃道にし、林道として再施工することで走行性の高い道路に改良する（林道は林道規程を遵守して作られるので規格が保障される）という手法を用いている自治体も存在する。林道は基本的に公道であるという性質が、肯定的に利用されている例と言えよう。

このような隘路の問題に加えて、2.1 で述べたように公道の等級は計画通行量に応じて定められているため、そもそも一般交通の需要が少ない中山間地では制度的に等級の高い公道は作られにくいという問題もある。一方、道路の構造基準は大型車交通量など計画交通量以外の交通特性も加味して決定されるべきものである（日本道路協会 2021a）。セミトレーラは内輪差が大きい（図－3）ため、拡幅量を一定以下にするには曲線半径もある程度以上大きい（一般には設計速度も高い）必要がある。林道へのセミトレーラ導入を今後本格的に進めていくためには、現状把握に続く第二の課題として、公道路網の末端の奥にある森林地域へのアクセスの重要性を客観的に正当に示し、LVR のように通行量とは別の根拠により、中山間地の公道の高規格化を要請する必要がある。

研究面において、これまで林内路網の研究は多く行われているが、公道との接続も考慮した研究は多くない（鈴木 2011, 鈴木ら 2019）。前者については、初期には神崎（1965）、Kanzaki（1966）、南方ら（1985）、酒井（1987）などがあり、またそれまでの知見をまとめた神崎・小林（1990）がある。さらに、積み上げられてきた知見を発展・

応用したものとして、澤口（1996a, b）、吉村・酒井（1998）、井上ら（2000）、仁多見ら（2004）、松本・古川（2007）、澤口ら（2013）、山崎ら（2018）などがある。海外の知見をまとめたものには Heinimann（2017）がある。これらの研究の系譜に繋がるもので公道との接続を意識した研究には、中澤ら（2007a～c, 2008, 2009）があり、今後の進展が期待される。

## 4.2 橋梁

これも今後客観的に状況を示す必要があることだが、これまで筆者らが山地での伐出に関わる関係者から把握した問題点のひとつとして、耐荷重が不足している旧基準の橋梁の存在がある。表－2 に示したように橋梁の耐荷重は 1956 年と 1993 年の 2 回、大きく改定されている。1993 年の改定後、各地域では順次新基準に沿うように橋梁の架け替え等が行われているはずだが、予算や優先順位などの都合のため新しい基準に対応できていない旧基準の橋梁がまだ相当数残っているものと考えられる。なお、現存する橋梁の耐荷重等の情報は、当該自治体の建設部等に照会することで知ることができる。

公道隘路とも関連するが、運材車両のみならず伐出機械等の林業機械も大型化してきており、それらを現場まで運搬するトレーラも相応の規格のものが必要となってきた。すなわち、高規格の、特に幹線的役割を持つ公道は、耐荷重や設計車両の規格について特例あるいは許可申請の制度があるため、必要に応じて大型トレーラやフルトレーラの走行が可能だが、橋梁の耐荷重やトレーラに機械を積載した状態での車両全高の高さ制限（普通自動車およびセミトレーラ連結車の高さは 3.8 m、重要物流道路である普通道路にあっては国際海上コンテナ車に対応して 4.1 m；日本道路協会 2021a）が隘路となり伐出現場に機械が搬入できない場合があることが問題である。橋梁についても、通行量（回数）の面からの需要を指標にすると改良や架け替えの優先度は低くなってしまいが、必要な機械の運搬は作業実施の大前提であるため、改良や架け替えの必要性について合理的理由を持って提示していくことが重要と考えられる。

## 4.3 道路の規格

この項では、公道・林道や作業道の区別なく共通のことだが、地形等の条件から可能な道路の規格の限界について触れておきたい。傾斜地に道路を作る場合、道幅が広いほど土工量が多くなり崩壊危険度も増す（酒井 2004, 鈴木ら 2015）。例えば林業専用道作設指針（林野庁 2021d）では、斜面傾斜の閾値の目安は 30 度とされている。道の幅員自体は規格（道路の等級）で一定だが、曲線部では拡幅が必要となる。尾根や谷を通過する曲線部で、加えて曲線半径が小さいと、規格（設計車両）により拡幅量が非常に大きくなる場合もある（図－2, 3）。なお、拡幅量として必要な内輪差は曲線部における前輪と後輪の軌跡の差として定義されるが、図－2 に示されているように、林道規程では車両前面の中心点が常に車



道中心線上にあるように曲線部を走行した際の前面中心点の軌跡（すなわち車道中心線）と後車軸における車両中心点（後車軸の中心点）の軌跡の差を拡幅量としている（日本林道協会 1983）。拡幅量を抑えるためには曲線半径を大きくする必要があるが、曲線半径の大小は、地形の複雑さ、すなわち等高線迂回率（山崎ら 2021）などで表される等高線の入り組み方によると考えられる。地質や地形と等高線迂回率の関係について、さらなる研究が必要と思われる。

急峻な地形では道幅を一定以下に制限し機械も小規模なものにするという考え方もあるが、林業の成長産業化や世界の森林・林業との関係性の中で日本の林業を考えると（山田 2020b, 2021a～h）、物流コストの低減のため運材車両や機械を大型化するという方向性も、やはり必要な施策と考えられる。一方、道路の施工では地形や地質との兼ね合いが必須で、一定以上の悪条件では一定以上の規格の道の作設は断念せざるを得ない場合もある。ただし、和歌山や岐阜といった急斜地が多い地域で、タワーヤード等の大型機械が入る道を慎重に作設し、適切な維持管理で継続して安定的に使用している例もある（前田 2021, 長瀬 2021）。

なお、道幅を最小限にすることで崩壊の危険性も抑える方向に対処することができるが、大型車両を余裕のない道幅で運転することは、走行自体の安全性のみならず運転手の心理的負担ひいては安全にも影響することが考えられる（Nakata and Itaya 2020, 中田ら 2021）。こうしたことも、ないがしろにはできない問題のひとつである。

#### 4.4 森林整備と防災

森林地域である中山間地の路網整備は、木材増産のみならず、森林の整備にも必要である。具体的には、人工林においては、適期の除間伐や伐採を行うことで偏った齢級を平準化するため、また条件によっては未整備の人工林を広葉樹林に誘導するための施業が考えられる。予定調和的な考え方には注意する必要があるが、長期的に見て適切な森林の整備すなわち管理・育成は、森林土壌の発達を促し保水機能を高めることや、根系の発達により表層崩壊を防止する機能を高めるなどの効果が期待されることから（塚本 1992；丹下・小池 2016；多田 2018, 2021a, 2021b；丸谷 2019）、森林の保全、ひいては豪雨等に付随する山腹崩壊などの災害の回避につながると考えられる。また、そうした森林の管理・育成のために整備された路網は、森林地域への非常時のアクセスも向上させることから、災害が発生したときの早期復旧にも貢献すると考えられる。

一方、未舗装の林道や作業道では、道が崩壊せずとも路面浸食による土砂の流出の問題があり、これをできるだけ抑えるような施工の工夫が必要である（Aruga *et al.* 2005, Forsyth *et al.* 2006, Sheridan and Noske 2007）。欧米では作設マニュアルに必ず環境保全のための具体的な施

工方法が記されている（Keller and Sherar 2003, Upfold 2005）。日本においては、路面の浸食や路面からの土砂流出そのものを取り扱った研究は 1980 年代から行われてきている（福島ら 1984；古谷ら 1984, 1986；中島・北川 1991；Muneoka *et al.* 2014, など）。一方、路面から周辺の溪流への土砂の到達についての研究は、1990 年代末から取り組まれてきている（李・峰松 1997, 呉・井上 1998, 吉幸ら 2001, 李ら 2003, 臼田ら 2014）が、対策のマニュアル化に向けてさらなる研究が必要と考えられる。

地形などの条件を見て崩壊危険度の少ない路線選定をする技術は、大橋が経験的に示した知見（大橋・神崎 1989, 大橋 2001, 2011）を吉村・神崎（1995）が客観的に検証し、こうした成果をもとに情報技術も用いて地形や地質の情報を路線選定に援用する技術が進展してきている（Suzuki *et al.* 2007, Saito *et al.* 2013, Yoshida *et al.* 2018, 白澤 2020, 2021）。地質などの情報も、全国的なものが容易に利用できるようになってきた（全国地質調査業協会連合会 2016, 産総研地質調査総合センター 2020, 平 2020, 日本地すべり学会 2021）。ただし詳細な地質・土質は掘削するまで判明しない場合も多いが、そうした状況を把握するために、開設済み路網の切取法面を利用するなどして地域毎の詳細地質等についての情報を集積することが考えられる。なお、近年の気候変動、豪雨の頻発化（宗岡ら 2021）に対応して、「今後の路網のあり方検討委員会」でも指摘されているように（林野庁 2021a）、林道等の設計で考慮される確率降雨強度の見直しが必要と考えられる。

#### 4.5 集材システム

路網整備の目安が距離基準方式（吉岡 2020, 有賀 2021）になったことは先に述べたが、その場合、考え方として路網の対象としている道のすべてにおいて道端から集材作業を行うことができることが前提である（後藤 2011, 石橋 2011, 櫻井ら 2004）。しかし、日本の林道は基本的に公道であるため、通常は、林道が林業用の道である欧米諸国では標準的な、林道に機械を置いたり道端を材置き場にしたりしての集材等の作業は行うことができない。林道規程第 33 条「林業作業用施設」の項は、土場等を別個に設ける必要があることを示している（林野庁 2021c）。公道も許可を得れば集材作業等に利用できる場所もあるものの、現実的な路網整備の目安（具体的には目標となる路網密度）を定める際には実質上公道や林道は除く必要があると考えられるが、実際にはそのようになっていない場合が多いように思われる。使用する作業システムが従来型の架線で、必要な土場を林道沿いの適切な箇所に設けることができる場合には問題がないが、横取り距離が大きい反面架設撤去が容易という機動性が利点であるタワーヤードやスイングヤードでは、道端を土場にできることがその特質を活かすうえで必須である。この基本的な認識を、今一度確認する必要

がある。

上記のような問題を解決するために、従来の林道では林業的機能に加えて公道的機能も担っていたところを、林業的機能を受け持つ林業専用道の導入により解決が図られたところであるが、まだその本来の意図が達せられるほど林業専用道の開設は進んでいないものと思われる。林道2種2級相当の規格が適用されることから、事業体によっては森林作業道のような自力開設ができず建設業者に外注せざるを得ないために本来の趣旨である低コスト開設が難しくなっている事例や、逆に開設補助金の上限にあわせて崩壊を防ぐための十分な施工が行われていない事例なども、見聞きされる。林業専用道の本来の趣旨が実現できるよう、施工指針や補助金体系には、現場の状況に応じて適切な見直しの継続が望まれる。

地形や地質の制限により集材が行われる林内路網が10t等の運材トラックが直接侵入できない規格のものになってしまうような場合には、公道との接続地点に土場を設けて積み替えがなされる（猪俣ら2020）。小型のトラックなら林内路網に入れるという場合には、林内路網の出口でなく他の林地からの材を集積する中間土場を公道のどこかの地点に設ける方が全体として効率がよい場合があり、最終的な運材の目的地も考慮して中間土場などの集積地の最適な配置を計画する必要がある（白澤ら2013, 2014）。

## 5. おわりに

森林路網のあり方について、上飯坂（1971）は到達道の整備から細部路網に発展していくべきという方向性を、神崎（1991）は実現した細部路網の例をもとに森林保全との両立のための留意事項を、酒井（2016）は日本でも機械化が進んできた実態を踏まえて課題を整理した。直近では鈴木（2021）が、作業道の開設が増えている現状に即して、問題点と今後の方向性を論じている。いずれにも共通しているのは丁寧な道づくりと維持管理の重要性、言い換えると短期的な利益に拘泥しない長期的視野に基づく観点の重要性である。本論では、これまで注目されていなかった、山岳地域・森林地域の公道も含めた統合的な整備の必要性に着目し、諸外国との比較も踏まえ、日本における現状の整理と解決すべき問題点の整理を行った。基本的な問題意識は先人達と変わらず長期的視野に基づく観点の重要性であり、目的も先人達と同様に森林資源を豊かな状態で次世代に引き継ぐことである。

本論は、高知大学自然科学系プロジェクト・農学部門サブプロジェクト「バイオマス～TOSA」、および文部科学省科研費（基盤C特設分野研究（課題番号18KT0090）、基盤B一般研究（課題番号21H03672））の支援を受けた。後者科研費の研究分担者である高知大学守口海博士からは、方向性の示唆に影響する有益な情報を提供いただいた。また調査に際しては物部森林組合、

香美森林組合、および仁淀川町役場産業建設課にご協力いただいた。ここに記して謝意を表す。

## 引用文献

- 有賀一広（2021）第2章 森林路網の計画（森林土木学第2版。鈴木保志 編、有賀一広・岩岡正博・斎藤仁志・櫻井倫・鈴木秀典・鈴木保志・長谷川尚史・松本武・矢部和弘・吉岡拓如・吉村哲彦 著。189pp, 朝倉書店、東京）7～15。
- Aruga, K., Sessions, J. and Miyata, E.S. (2005) Forest road design with soil sediment evaluation using a high-resolution DEM. *J. For. Res.* 10(6): 471-479.
- Borz, S.A. (2020) IUFRO 3.01.02 Webinar Series - Forest Roads: Forest Roads in Europe (Video recorded on December 1, 2020). online, ([https://media.oregonstate.edu/media/t/1\\_gxs4po7a](https://media.oregonstate.edu/media/t/1_gxs4po7a)). accessed August 29, 2021.
- Dietz, P., Knigge, W. and Löffler, H. (1984) *Walderschließung*. 426pp, Paul Parley, Hamburg and Berlin. (神崎康一・藤井禧雄・古谷士郎訳, 1988, 森林経営基盤の基本思想と計画. 325pp, 林土連研社, 東京.)
- Forsyth, A.R., Bubb, K.A. and Cox, M.E. (2006) Runoff, sediment loss and water quality from forest roads in a southeast Queensland coastal plain *Pinus* plantation. *For. Ecol. Manag.* 221 (1-3): 194-206.
- 福嶋義宏・黒田幸夫・渡正昭（1984）林道路面の流出量と浸食土砂量. 京大農演報 56: 145～154.
- 古谷士郎・酒井徹朗・佐々木功（1984）林道の路面浸食について（V）：1980-1983年に観測された流出土砂量等に関する総合的検討. 京大農演報 56: 155～165.
- 古谷士郎・酒井徹朗・佐々木功（1986）林道の路面浸食について（VI）：シミュレーションによる路面浸食量の2-3の検討. 京大農演報 57: 192～206.
- 後藤純一（2011）路網を活用した作業システムの現状と課題. 林業経済 63 (11): 19～22.
- Heinimann, H.R. (2017) Forest Road Network and Transportation Engineering - State and Perspectives. *Croat. J. For. Eng.* 38 (2): 188-173.
- 姫野賢治（2005）第1章 総論（道路工学. 姫野賢治・赤木寛一・武市靖・竹内康・村井貞規. 163pp, 理工図書, 東京）1～25.
- 日野自動車株式会社（2021）商品情報 - 日野レンジャーHOME - ラインアップ - 強化木製平ボディ（メーカー完成車）. オンライン, (<https://www.hino.co.jp/ranger/lineup/woodenflat/index.html>). 2021年9月19日参照.
- 猪俣雄太・山田健・宗岡寛子・佐々木尚三・古家直行（2020）北海道国有林における土場の配置実態と車両系集材機械の走行距離が生産性に与える影響. 森利誌 35



- (1) : 31 ~ 38.
- 井上源基・吉田智佳史・陣川雅樹・山口浩和 (2000) 樹枝型路網の分岐構造の解明と路網配置指標の評価. 森利誌 15 (3) : 185 ~ 196.
- 石橋啓史 (2011) 林業機械による日本林業のブレークスルー. 機械化林業 689 : 1 ~ 25.
- いすゞ自動車株式会社 (2021) ISUZU - 製品ラインナップ - FORWARD - バリエーション. オンライン, ([https://www.isuzu.co.jp/product/forward\\_post/variation/index.html](https://www.isuzu.co.jp/product/forward_post/variation/index.html)). 2021 年 9 月 19 日参照.
- IUFRO (2021) Unit 3.01.02 - Activities and events. online, (<https://www.iufro.org/science/divisions/division-3/30000/30100/30102/activities/>). accessed August 27, 2021.
- 上飯坂実 (1971) 森林利用学序説. 180pp, 地球出版, 東京.
- 上飯坂実 (1974) II. 林道の設計 1. 林道の機能と分類 (林業土木学. 上飯坂実・澁谷欣治・南方康・佐々木功・岩川治・堀高夫・村山茂明. 251pp, 朝倉書店, 東京) 6 ~ 10.
- 上飯坂実・小林洋司・中尾博美・山本誠・岩川治・南方康・村山茂明・堀高夫 (1988) 新林業土木学. 196pp, 朝倉書店, 東京.
- 神崎康一 (1965) 林道網問題に有用なグラフの理論概念と手法. 日林誌 47 (2) : 84 ~ 87.
- Kanzaki, K. (1966) A planning of the forest road network by the Theory of Graphs. J. Jpn. For. Soc. 48 (10) : 365-371.
- 神崎康一 (1991) 森林保全と木材生産と基盤整備. 森利誌 6 (2) : 1 ~ 10.
- 神崎康一・小林洋司 (1990) 森林経営基盤としての路網計画 (森林作業システム学. 上飯坂実・神崎康一編. 292pp, 文永堂, 東京) 49 ~ 122.
- Keller, G. and Sherar, J. (2003) Low-Volume Roads Engineering - Best Management Practices Field Guide -. 158pp, USDA Forest Service/USAID. online, ([https://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/PNADB595.pdf](https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNADB595.pdf)). accessed September 10, 2021.
- 小林洋司・小野耕平・山崎忠久・峰松浩彦・山本仁志・鈴木保志・酒井秀夫・田坂聡明 (2002) 森林土木学. 160pp, 朝倉書店, 東京.
- 李成基・峰松浩彦 (1997) 林道路面から流出する浮遊砂の流出特性に関する実験的研究. 森利学誌 12 (2) : 111 ~ 120.
- 李成基・峰松浩彦・李甲淵 (2003) 林道路面から流出する浮遊砂に対するレキの流出制御特性に関する実験的研究. 森利誌 18 (3) : 159 ~ 165.
- Lyons, C.K. (2020) IUFRO 3.01.02 Webinar Series - Forest Roads: A Perspective from Western North America (Video recorded on September 29, 2020). online, ([https://media.oregonstate.edu/media/t/1\\_1hhx3ext](https://media.oregonstate.edu/media/t/1_1hhx3ext)). accessed August 28, 2021.
- 前田章博 (2021) 作業システムに応じた路網整備の実際. 森林技術 952 : 12 ~ 15.
- 丸谷知己 編 (2019) 砂防学. 244pp, 朝倉書店, 東京.
- 松本武・古川邦明 (2007) 作業路網計画支援ツールの作成. 森利誌 22 (3) : 181 ~ 186.
- 南方康・酒井秀夫・伊藤幸也 (1985) 複合的路網の整備目標. 東大農演報 74 : 81 ~ 96.
- 三菱ふそうトラック・バス株式会社 (2021) 製品情報. オンライン, (<https://www.mitsubishi-fuso.com/ja/products/>). 2021 年 9 月 19 日参照.
- 宗岡寛子・白澤紘明・図子光太郎・鈴木秀典 (2021) 降雨強度に応じた単位延長あたり林道施設災害発生箇所数の期待値. 森利誌 36 (1) : 43 ~ 50.
- Muneoka, H., Suzuki, H., Yamaguchi, S., Tanaka, Y. and Uemura, T. (2014) The relationship between the velocity of road-surface flow and coarse sediment discharge on forest roads. J. Jpn. For. Eng Soc. 29 (3) : 165-172.
- 長瀬雅彦 (2021) 多機能な森林に必要とされる路網. 森林技術 952 : 16 ~ 19.
- 中村俊行・稲垣竜興・小梁川雅 (2015) 第 4 章 道路の設計 (大学土木道路工学改訂 3 版. 稲垣竜興編. 254pp, オーム社, 東京) 69 ~ 101.
- 中島皇・北川新太郎 (1991) 林道の路面浸食と降雨量について. 京大農演集報 22 : 183 ~ 190.
- Nakata, C. and Itaya, A. (2020) Estimation of transportation distance and time between forests and a woody biomass power plant using a Web map service. J. Jpn. For. Eng. Soc. 35 (4) : 223-229.
- 中田知沙・板谷明美・吉田智佳史・中澤昌彦 (2021) 原木輸送におけるドライバーのヒヤリハット経験の発生要因. 森利誌 36 (2) : 79 ~ 86.
- 中澤昌彦・松本武・岡勝・田中良明・吉田智佳史 (2009) 中山間地域における路網密度補正係数の特性: 境界面積の規模が係数に与える影響. 森利誌 24 (3-4) : 97 ~ 106.
- 中澤昌彦・岡勝・田中良明・吉田智佳史・近藤耕次 (2007c) 中山間地域における道路網の迂回に関する一検討. 森利誌 22 (4) : 261 ~ 264.
- 中澤昌彦・岡勝・田中良明・吉田智佳史・近藤耕次 (2008) 中山間地域における道路網の迂回に関する一検討. 森利誌 22 (4) : 261 ~ 264.
- 中澤昌彦・鈴木秀典・岡勝・田中良明・吉田智佳史・近藤耕次・松本武 (2007a) ネットワーク分析を用いた山村地域における道路網の発達過程に関する研究. 森利誌 22 (1) : 15 ~ 20.
- 中澤昌彦・鈴木秀典・岡勝・田中良明・吉田智佳史・近藤耕次・松本武 (2007b) ネットワーク分析による

- 流域内の道路網の階層的・時系列的特性. 森利誌 22 (3) : 121 ~ 132.
- Nakazawa, M., Yoshida, C., Sasaki, T., Taki, S., Uemura, T. and Ito, T. (2019) Productivity of logging large diameter logs and long logs during final cutting in a mountain forest in Japan. *Int. J. For. Eng.* 30 (3) : 203-209.
- 日本道路協会 (2018) 道路政策の変遷. 668pp, 丸善出版, 東京.
- 日本道路協会 (2021a) Ⅲ 1 道路の区分と設計速度, 設計車両 (道路構造令の解説と運用. 日本道路協会編. 720pp, 丸善出版, 東京) 133 ~ 189.
- 日本道路協会 (2021b) Ⅲ 3-6 曲線部の拡幅 (道路構造令の解説と運用. 日本道路協会編. 720pp, 丸善出版, 東京) 372 ~ 382.
- 日本学術振興会 (2021) KAKEN - 研究課題をさがす | 持続可能な次世代分散定住社会のために今必要な森林地域の道路網整備の隘路はどこか? (KAKENHI-PROJECT-21H03672). オンライン, (<https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-21H03672/>). 2021 年 9 月 15 日参照.
- 日本地すべり学会斜面防災危険度評価ガイドブック編集委員会編 (2021) 斜面防災危険度評価ガイドブック - 斜面と地すべりの読み解き方 -. 136pp, 朝倉書店, 東京.
- 日本林道協会 (1983) 林道規程 - 解説とその運用 - 改訂版. 232pp, 日本林道協会, 東京.
- 仁多見俊夫・櫻井倫・有賀一広・楯雄太加 (2004) 複合規格路網配置の問題と解法. 森利誌 18 (4) : 249 ~ 252.
- 呉在萬・井上章二 (1998) 林道開設地における渓流水の浮遊砂濃度の変化. 森利誌 13 (3) : 161 ~ 168.
- 大橋慶三郎 (2001) 道づくりのすべて. 160pp, 全国林業改良普及協会, 東京.
- 大橋慶三郎 (2011) 作業道 路網計画とルート選定. 124pp, 全国林業改良普及協会, 東京.
- 大橋慶三郎・神崎康一 (1989) 急傾斜地の路網マニュアル. 173pp, 全国林業改良普及協会, 東京.
- 林野庁 (2021a) 今後の路網整備のあり方検討会. オンライン, (<https://www.rinya.maff.go.jp/j/seibi/sagyoudo/kentakai.html>). 2021 年 9 月 29 日参照.
- 林野庁 (2021b) 令和 2 年度森林・林業白書 概要. 31pp, 林野庁, 東京. オンライン, (<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/R2hakusyo/index.html>). 2021 年 6 月 17 日参照.
- 林野庁 (2021c) 林道規程及び林道規程の運用細則 (令和 3 年 6 月 22 日最終改正). オンライン, (<https://www.rinya.maff.go.jp/j/seibi/sagyoudo/attach/pdf/romousuisin-18.pdf>). 2021 年 8 月 27 日参照.
- 林野庁 (2021d) 林業専用道作設指針 (令和 3 年 4 月 1 日最終改正). オンライン, (<https://www.rinya.maff.go.jp/j/seibi/sagyoudo/attach/pdf/romousuisin-14.pdf>). 2021 年 8 月 27 日参照.
- 林野庁 (2021e) 「林業専用道作設指針」の運用について (令和 3 年 4 月 1 日最終改正). オンライン, (<https://www.rinya.maff.go.jp/j/seibi/sagyoudo/attach/pdf/romousuisin-13.pdf>). 2021 年 8 月 27 日参照.
- 林野庁 (2021f) 路網整備の推進. オンライン, (<https://www.rinya.maff.go.jp/j/seibi/sagyoudo/romousuisin.html>). 2021 年 8 月 27 日参照.
- 林野庁 (2021g) 森林作業道作設指針 (令和 3 年 4 月 1 日最終改正). オンライン, (<https://www.rinya.maff.go.jp/j/seibi/sagyoudo/attach/pdf/romousuisin-15.pdf>). 2021 年 8 月 27 日参照.
- 林野庁森林整備部整備課 (2021) 「林道規程, 林業専用道作設指針, 森林作業道作設指針」の改正ポイントについて. 現代林業 664 : 74 ~ 78.
- 酒井秀夫 (1987) 合理的集運材方式に基づく長期林内路網計画に関する研究. 東大農演報 76 : 1 ~ 85.
- 酒井秀夫 (2004) 作業道 理論と環境保全機能. 284pp, 全国林業改良普及協会, 東京.
- 酒井秀夫 (2016) 林内路網整備の課題. 森利誌 31 (1) : 27 ~ 31.
- 酒井秀夫 (2020) 第 2 章 森林利用学の歴史 (森林利用学. 吉岡拓如・酒井秀夫・岩岡正博・松本武・山田容三・鈴木保志. 256pp, 丸善出版, 東京.) 17 ~ 32.
- 酒井秀夫・小林洋司・下村彰男・岩岡正博 (2000) 森林の空間利用のための基盤整備. 森利誌 15 (1) : 3 ~ 10.
- 酒井秀夫・手島敏明 (1990) 栃木県民有林林道の公道移管. 日林論 101 : 699 ~ 700.
- 酒井秀夫・吉田美佳 (2018a) 世界の林道 上巻. 246pp, 全国林業改良普及協会, 東京.
- 酒井秀夫・吉田美佳 (2018b) 世界の林道 下巻. 222pp, 全国林業改良普及協会, 東京.
- 櫻井倫・仁多見俊夫・小林洋司 (2004) 集材可能範囲を考慮した路網配置計画法の構築. 森利誌 19 (2) : 119 ~ 126.
- Saito, M., Goshima, M., Aruga, K., Matsue, K., Shuin, Y. and Tasaka, T. (2013) Study of Automatic Forest Road Design Model Considering Shallow Landslides with LiDAR Data of Funyu Experimental Forest. *Croat. J. For. Eng.* 34(1): 1-15.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター (2020) 20 万分の 1 日本シームレス地質図 V2. オンライン, (<https://gbank.gsj.jp/seamless/>). 2020 年 11 月 19 日参照.
- 澤口勇雄 (1996a) 山岳林における林道路線評価と林道規格に関する研究 (第 1 報) - 林道路線評価パラメータの特性 -. 森林総研研報 372 : 1 ~ 110.



- 澤口勇雄 (1996b) 山岳林における林道路線評価と林道規格に関する研究 (第2報) - 林道路線評価による林道規格の決定 -. 森林総研研報 372 : 111 ~ 160.
- 澤口勇雄・佐々木一也・立川史郎・上田真奈美 (2013) 低炭素型森林収穫システムにおける合理的路網規格配置: 主伐評価に基づく大型フォワーダによる車両系短幹作業システムの例. 森利誌 28 (1) : 91 ~ 98.
- Sheridan, G.J. and Noske, P.J. (2007) A quantitative study of sediment delivery and stream pollution from different forest road types. Hydrol. Process. 21: 387-398.
- 白澤紘明 (2020) 路網設計支援ソフト Forest Road Designer (FRD) の開発にあたって. 山林 1638 : 43 ~ 51.
- 白澤紘明 (2021) 地理空間情報を用いた路網整備適地の解明. 森林技術 952 : 8 ~ 11.
- 白澤紘明・長谷川尚史・梅垣博之 (2013) 原木流通における輸送車両選択によるコスト低減効果: 兵庫県を事例として. 森利誌 28 (1) : 3 ~ 6.
- 白澤紘明・長谷川尚史・梅垣博之 (2014) 中間土場の活用による原木流通費の低減効果. 森利誌 29 (1) : 37 ~ 44.
- 社団法人全日本トラック協会 (2008) トラックドライバーのためのトレーラの安全走行のポイント. 52pp, 社団法人全日本トラック協会, 東京. オンライン, ([https://jta.or.jp/wp-content/themes/jta\\_theme/pdf/publication/trailer\\_anzen\\_unkou.pdf](https://jta.or.jp/wp-content/themes/jta_theme/pdf/publication/trailer_anzen_unkou.pdf)). 2021 年 9 月 23 日参照.
- 鈴木秀典 (2011) 2.2 林道・路網 (2. 森林利用研究のレビュー, 森林利用学会誌 25 年のあゆみ. 森林利用学会. 81pp, 森林利用学会, 東京) 29 ~ 34.
- 鈴木秀典 (2021) これからの路網整備のあり方. 森林技術 952 : 1 ~ 6.
- Suzuki, H., Umeda, S. and Yamaguchi, S. (2007) Influence of terrain conditions on forestry road construction on ridges. J. Jpn. For. Eng. Soc. 22 (3) : 133-142.
- 鈴木保志 (2021) ユフロ Unit3.01.02 主催「世界の林道」ウェビナーの概要. 森利誌 36 (4) : 205 ~ 208.
- 鈴木保志・Setiawan, A.H.・後藤純一 (2015) 人工林の高齢級化にともなう伐出システムの観点から見た路網整備の方向性と課題. 日林誌 97 (4) : 191 ~ 202.
- 鈴木保志・吉村哲彦・長谷川尚史 (2019) 森林利用学における情報関連研究のこれまでとこれから - 森林利用研究会誌および森林利用学会誌に掲載された成果を中心に -. 森利誌 34 (1) : 5 ~ 16.
- 平朝彦 (2020) 7.6 日本列島の地質 (カラー図解 地球科学入門 地球の観察 - 地質・地形・地球史を読み解く. 平朝彦・国立研究開発法人海洋研究開発機構. 207pp, 講談社, 東京) 173 ~ 180.
- 武市靖 (2005) 第3章 幾何構造 (道路工学. 姫野賢治・赤木寛一・武市靖・竹内康・村井貞規. 163pp, 理工図書, 東京) 53 ~ 90.
- 多田泰之 (2018) 国土の変遷と災害. 水利科学 62 (4) : 121 ~ 137.
- 多田泰之 (2021a) 林業と国土保全の両立を目指して (1) - 林業技術者のための林地の災害リスクの考え方 -. 山林 1640 : 37 ~ 45.
- 多田泰之 (2021b) 林業と国土保全の両立を目指して (2) - 完 - 林地の災害リスクの基礎知識 -. 山林 1641 : 34 ~ 43.
- 丹下健・小池孝良 編 (2016) 造林学 第四版. 180pp, 朝倉書店, 東京.
- 塚本良則 編 (1992) 森林水文学. 319pp, 文永堂, 東京.
- UD トラックス株式会社 (2021) Condor | UD トラックス. オンライン, (<https://www.udtrucks.com/japan/trucks/condor>). 2021 年 9 月 19 日参照.
- 植下協・加藤晃・小西純一・間山正一 (2002) 2. 道路の交通容量 (エース道路工学. 植下協・加藤晃・小西純一・間山正一. 214pp, 朝倉書店, 東京) 17 ~ 27.
- Upfold, S. (Ed.) (2005) South African Forest Road Handbook. 214pp, Forest Engineering Southern Africa and Institute for Commercial Forestry Research, Scottsville. Online, (<https://www.icfr.ukzn.ac.za/sites/default/files/pubs/Roads%20Handbook.pdf>). accessed August 17, 2021.
- 臼田寿生・古川邦明・鈴木秀典・小倉晃 (2014) 森林作業道における濁水流出防止対策の検討: 沈砂池の効果. 森利誌 29 (2) : 97 ~ 100.
- Visser, R. and Harvey, C. (2021) IUFRO 3.01.02 Webinar Series - Forest Roads: Forest Roads in New Zealand (Video recorded on June 1, 2021). online, ([https://media.oregonstate.edu/media/t/1\\_0kgz4rlu](https://media.oregonstate.edu/media/t/1_0kgz4rlu)). accessed September 4, 2021.
- 山田壽夫 (2020a) 日本に導入すべきニュージーランドの林業・木材産業. 林道 56 : 152 ~ 158.
- 山田壽夫 (2020b) 特集 平成林業逸史 (1) 新流通・加工システム、新生産システムの立案に関わって. 山林 1631 : 2 ~ 10.
- 山田壽夫 (2021a) 「世界と戦える日本林業再生産」への挑戦 (1). 機械化林業 806 : 16 ~ 21.
- 山田壽夫 (2021b) 世界と戦える日本林業再生産への挑戦 (2). 機械化林業 807 : 6 ~ 12.
- 山田壽夫 (2021c) 世界と戦える日本林業再生産への挑戦 (3). 機械化林業 808 : 6 ~ 13.
- 山田壽夫 (2021d) 世界と戦える日本林業再生産への挑戦 (4). 機械化林業 809 : 1 ~ 7.
- 山田壽夫 (2021e) 世界と戦える日本林業再生産への挑戦 (5). 機械化林業 810 : 7 ~ 12.



- 山田壽夫 (2021f) 世界と戦える日本林業再生産への挑戦 (6). 機械化林業 811 : 8 ~ 13.
- 山田壽夫 (2021g) 世界と戦える日本林業再生産への挑戦 (7). 機械化林業 812 : 6 ~ 12.
- 山田壽夫 (2021h) 世界と戦える日本林業再生産への挑戦 (8). 機械化林業 813 : 5 ~ 11.
- 山崎真・鈴木保志・後藤純一・渡辺直史 (2021) 地形に適した作業システムの選択－高知県における流域別適用事例にもとづく検討－. 森利誌 35 (1) : 13 ~ 20.
- 山崎真・山崎敏彦・鈴木保志・三谷幸寛・森本正延・長澤佳暁 (2018) 作業道の改良による伐出作業システムの生産性の向上と経費削減効果の検証. 森利誌 33 (1) : 25 ~ 35.
- Yoshida, M. Sakurai, R. and Sakai, H. (2018) Forest road planning using precision geographic data under climate change. Int. J. For. Eng. 30 (3) : 219-227.
- 吉幸朗・長澤喬・森田紘一・中尾博美 (2001) 高密度道路網を基盤とする機械化間伐作業林分における土砂流出について. 森利誌 16 (3) : 191 ~ 202.
- 吉岡拓如 (2020) 第1章 森林利用学序論 (森林利用学. 吉岡拓如・酒井秀夫・岩岡正博・松本武・山田容三・鈴木保志. 256pp, 丸善出版, 東京.) 1 ~ 16.
- 吉村哲彦・神崎康一 (1995) 破碎帯急傾斜地における崩壊危険度を用いた高密度路網の計画法 (I) 地形図による崩壊危険度の判定. 日林誌 77 (1) : 1 ~ 8.
- 吉村哲彦・酒井徹朗 (1998) ネットワーク分析を用いた山間部における道路網の評価. 森利誌 13 (3) : 193 ~ 200.
- 全国地質調査業協会連合会 (2016) 日本と欧米の地質 - 日本列島の地質と地質環境 - 地質関連情報 Web. 一般社団法人 全国地質調査業協会連合会. オンライン, (<https://www.zenchiren.or.jp/tikei/oubei.html>). 2021 年 2 月 7 日参照.