

(b) Wr と ΔC

図 5.13 は、同じデータ（立木密度、胸高直径）から算定された Wr と ΔC を比較したものである。なお図 5.13 は、10m グリッドごとに Wr と ΔC をプロットし、先の図 5.10 は小班単位での Wr と ΔC をプロットしている。両者ともに概ね同じ回帰線が得られている。

■ Wr - ΔC 回帰線

(小班単位) : $\Delta C = 0.0014 Wr^{1.3588}$

(10m グリッド) : $\Delta C =$

$0.0009 Wr^{1.4387}$

ただし, Wr : kg/100m², ΔC : kN/m²

同じデータから算定した Wr と ΔC の相似度は非常に高く、決定係数 R^2 は 0.99 に達する。令和元年度に広島を対象に作成した Wr マップと ΔC マップの比較では黄色と緑色で単純に色比較をしていたため、相応に異なる領域が存在していた。これは第 1 回委員会で執印委員からいただいた「 Wr と ΔC マップはクラス分けをしていることから、ランクの整合性が重要」というご指摘どおり、両マップのクラス分けの差異があらわれていたと考えられる。

このように図 5.10 や図 5.13 のように散布図で比較すると、同一データ（立木密度、胸高直径）から求まる Wr と ΔC は概ね 1 対 1 で対応する指標としてよい。

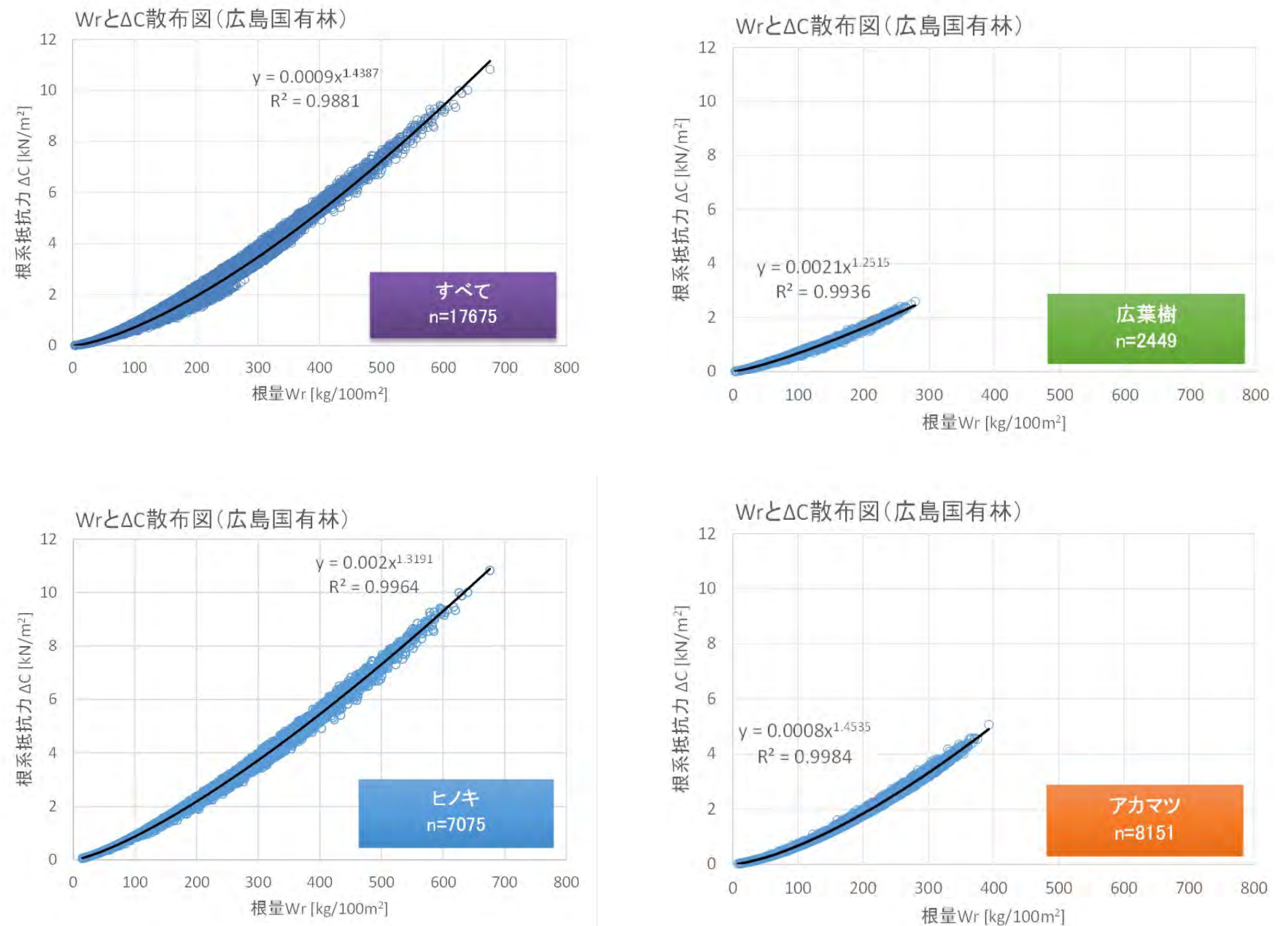


図 5.13 同じデータより算定された Wr と ΔC の比較 (10m グリッド)

(c) Wr と手引の評価点 P

図 5.14 は、同じデータ（立木密度、胸高直径）から算定された Wr と林野庁手引 2016 による崩壊防止機能評価点 P を比較したものである。

手引による評価点、 Wr と ΔC すべて同じデータから算定している。 Wr と ΔC がほぼ 1 対 1 で対応するのに対し、 Wr と評価点 P のばらつきは非常に大きい。決定係数 R^2 は 0.28~0.33 と小さな値である。手引は基本的に北原の ΔC 研究成果（例えば図 5.3）に基づく評価点設定がなされているが、表 5.1 で求まる手引の崩壊防止機能は、同じデータから算定される Wr 、 ΔC と同様の値とはいえない状況である。

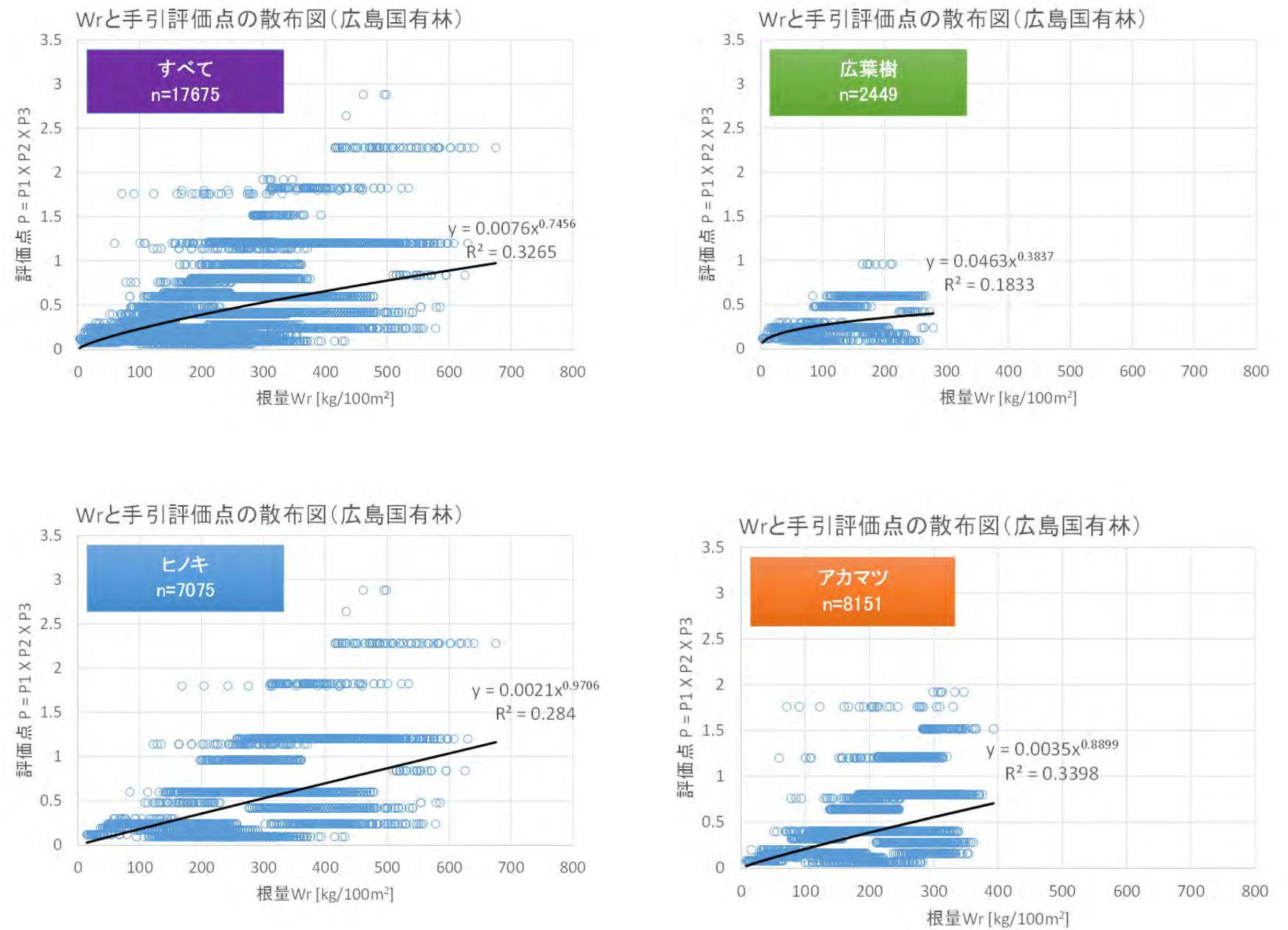


図 5.14 同じデータより算定された Wr と手引評価点 P の比較

Wrと手引評価点Pの傾向が大きく異なる理由を詳しく調べる。

図 5.15 は、ヒノキに限定して立木密度、胸高直径を 3 段階に分けてプロットしたものである。これを見るとわかるように、手引評価点は立木密度が疎、胸高直径が大きなものほど高評価を獲得している。

手引評価点は右表のように、P2 が立木密度を反映し、P3 が胸高直径を反映する。立木密度に関しては図 5.3 の傾向を反映し、1,000 本/ha 付近をピークとしてそれよりも疎でも密でも評定点は低下するが胸高直径は大きいほど大きな配点となっている。そのため、立木密度が疎であっても、胸高直径でリカバリされるケースがある。例えば針葉樹 700 本/ha、胸高直径 25～30cm 階は $0.8 \times 1.9 = 1.52$ 点に対し、1,000 本/ha、20～25cm 階は $1.0 \times 1.0 = 1.0$ 点であり、小さな評価点となる。

図 5.15 をみても右下図がもっとも大きな評価点グループであり、手引は胸高直径の影響が強くなる設定となっている。

樹種(P1)		立木密度(P2)			胸高直径(P3)	
区分	点数	本数 (本/ha)	点数		胸高直径 (cm)	点数
			針葉樹人工林	針葉樹人工林以外		
A (参考樹種:スギ、 針・広天然生林)	1.6	400～600	0.5	0.5	10～15	0.2
		600～800	0.8	0.8	15～20	0.5
B (参考樹種:ヒノキ、 広葉樹二次林)	1.2	800～1,600	1.0	1.0	20～25	1.0
		1,600～1,800	0.7	1.0	25～30	1.9
C (参考樹種:マツ類)	0.8	1,800～2,000	0.4	1.0	30～35	3.0
					35～40	4.4

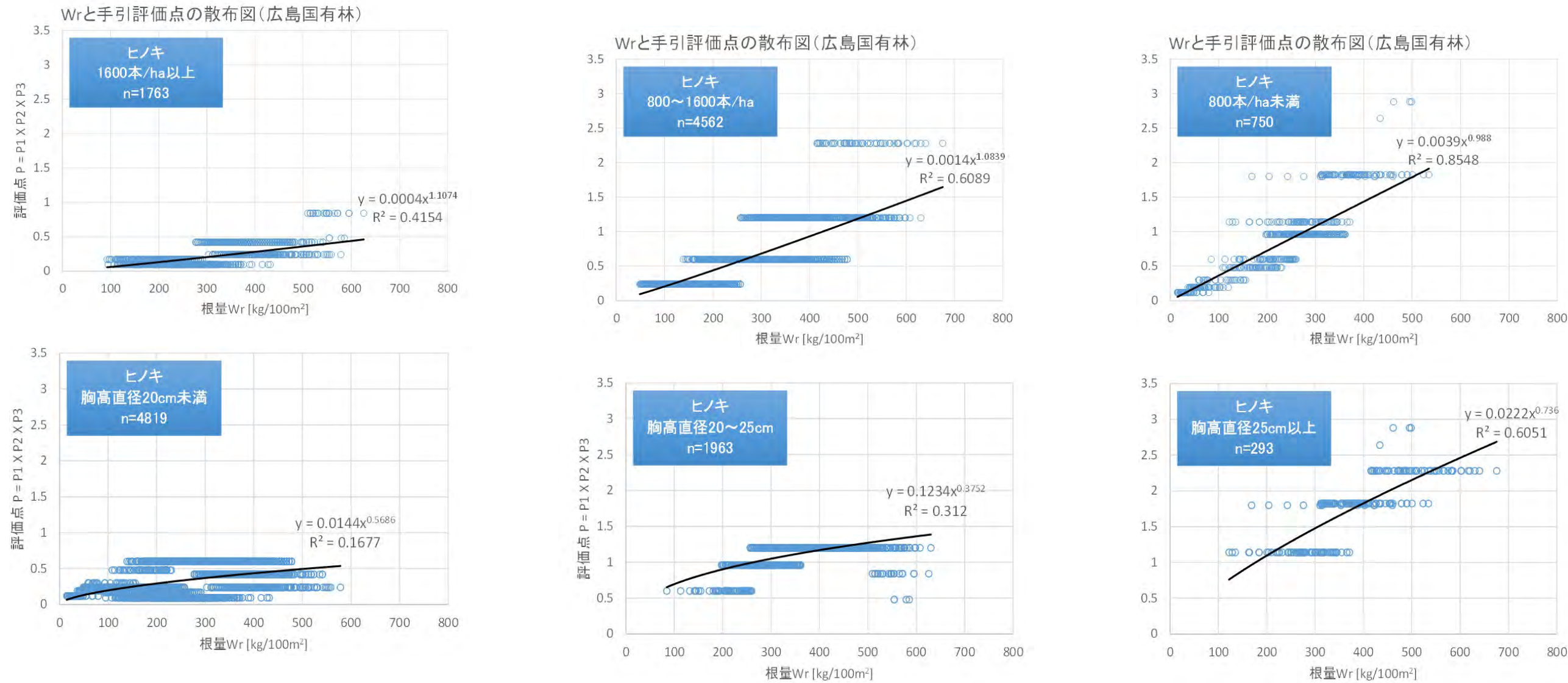


図 5.15 Wrと手引評価点Pの比較（立木密度、胸高直径別にグループ化）

表 5.3、表 5.4 は広島樹木データのうち、ヒノキのみを対象に立木密度階と胸高直径階、根量階でそれぞれのクラスの立木本数をカウントしたものである。

黄色いセルは、同じ立木密度階の中で最大本数となったセルで、表 5.3 をみると密度が低いほど胸高直径階が上昇する一方で、根量は密度の中間あたりにピークを有する分布となっている。大きくは、このウェイトのとり方の違いが、手引の指標と根量 Wr の傾向の違いを生み出している。

つまり、手引では 800 本/ha 未満でも胸高直径が大きい林分であれば P3 の指標値が増え崩壊防止機能が低下しにくい構造となっている。

表 5.3 広島ヒノキの階級別本数分布（林野庁手引 2016 と同じ胸高直径階）

		ヒノキ 胸高直径階別・本数							総計
立木密度 [本/ha]	点数 P3	-	0.2	0.5	1.0	1.9	3.0	4.4	
	点数 P2	5-10 [cm]	10-15 [cm]	15-20 [cm]	20-25 [cm]	25-30 [cm]	30-35 [cm]	35-40 [cm]	
0-800	0.8	15	80	82	355	201	16	1	750
800-1600	1.0	53	623	2,229	1582	75	-	-	4,562
1600-2400	0.7	52	801	815	26	-	-	-	1,694
2400-3200	-	9	56	4	-	-	-	-	69
総計		129	1,560	3,130	1,963	276	16	1	7,075

：最大本数

表 5.4 広島ヒノキの階級別本数分布（根量階）

		ヒノキ 根量 Wr 階別・本数							総計
立木密度 [本/ha]	点数 P2	0-100 [kg]	100-200 [kg]	200-300 [kg]	300-400 [kg]	400-500 [kg]	500-600 [kg]	600-700 [kg]	
0-800	0.8	103	85	290	237	32	3	-	750
800-1600	1.0	117	526	1,103	1,828	866	113	9	4,562
1600-2400	0.7	4	291	500	553	286	59	1	1,694
2400-3200	-	-	16	30	16	7	-	-	69
総計		224	918	1,923	2,634	1,191	175	10	7,075

：最大本数

本業務の第 2 回委員会において、理想的な本数密度に関する協議がなされた。ここでは事務局が作成した図では立木密度 800 本/ha 付近に根量 Wr のピーク値があるように見えるが、それは過小評価（本来ピーク値はもっと高い本数密度）ではないか、という議論がなされた。

-----本業務第 2 回委員会での発言-----

（委員）森林の崩壊防止機能が立木密度 800 本/ha にピークがあるというのは過小ではないか。
p.41 のグラフで恣意的に補助線を描かれるとピークがあるように見えるため、もう少し立木密度の高い箇所のデータも載せてはどうか。

（委員）経験上、本数密度が落ちると立木間の根量は確実に減る。これまでの掘削調査結果で例えば 1,500 本/ha 程度が根量の最も多くなる密度ではないかと考える。

（委員）p.41 のグラフは多項式回帰により線が引かれているが、かなりばらつきがある。例えば、壮・高齢区分で整理したときに、800 本がピークにはならないのではないかと。ミスリーディングをもたらす恐れがあるため、ばらつきの考え方を検討したほうがよい。

（事務局）北原先生の研究成果では、カラマツの本数密度による ΔC のピークが 1,200 本/ha 付近となっている。p.41 の 800 本/ha という数値については要精査とする。

手引の評価指標では立木密度が 800 本/ha 未満であっても、肥大成長（胸高直径）があれば崩壊防止機能は低下しにくい構造である。逆に ΔC や Wr を指標とすると立木密度が低下し、800 本/ha を下回ると防止機能は基本的に低下する。この違いは次節（3）でみるように、実際の森林が持つばらつき、多様性を評価する手引の評価点 P と、平均的な森林のありようを評価する指標 ΔC 、 Wr という違いがあらわれたものと考えられる。性質の異なるこれら指標の特徴を踏まえつつ、崩壊防止機能の定量評価に活用していくことが望ましい。

(3) 現地調査結果と重ねあわせてわかること

図 5.16 は先の図 5.11（現地調査で得られた $\Delta C(\Sigma A) \sim Wr$ 散布図）に、データが存在する範囲にハッチングを追記したものである。現地調査は局所で取得したデータであることから、その結果はだいたいばらつきがあり存在範囲は広い。図中には LP データ解析で得られた $\Delta C(\Sigma A) \sim Wr$ 散布図も併記しているが、こちらは胸高直径や樹高といった林分情報にもとづき従来の調査研究を踏まえた統計的な樹木諸元（胸高直径、根量等）の関係式を用いており、情報を平均化して評価した場合の $\Delta C(\Sigma A) \sim Wr$ 関係だといえる。

図 5.17 は、手引の評価点 P を縦軸とした $P \sim Wr$ 散布図（図 5.14 のヒノキ）に同じくデータ存在範囲をハッチング追記したものである。図 5.16 と図 5.17 のハッチング範囲はよく似ている。

$P \sim Wr$ 関係は、 $\Delta C(\Sigma A) \sim Wr$ 関係に比べ非常にばらつきが大きい、それは両者が以下のように異なる種類の指標であるため、ということがわかる。

■手引の評価点 $P \sim Wr$ 関係

P と Wr は基本的には単調増加関係にあり、根重 Wr が大きければ手引の評価点 P も大きい傾向だが、そのばらつき範囲は非常に大きい。回帰の決定係数は $0.2 \sim 0.3$ 程度。そのばらつき範囲は本年度の現地調査で取得された $\Delta C \sim Wr$ 関係と同程度であり、実際にあり得る範囲のばらつきである確証が得られた。

■ $\Delta C(\Sigma A) \sim Wr$ 関係

胸高断面積合計から算出する $\Delta C(\Sigma A)$ と根重量 Wr はどちらも従来の調査研究を踏まえた統計的な樹木諸元（胸高直径、根量等）の関係式に基づく算定値である。性質上林分の平均的な代表値をあらわしており、 $P \sim Wr$ 関係と比べると $\Delta C(\Sigma A) \sim Wr$ 散布図は非常に収束した範囲のプロット図となる。回帰の決定係数は $0.96 \sim 0.99$ 程度。回帰式により $\Delta C(\Sigma A)$ と Wr は相互変換が可能であることから、林分の地上部データ（胸高直径、樹高等）に基づき $\Delta C(\Sigma A)$ もしくは Wr を推定する場合はどちらを使っても同じ結果が得られる。

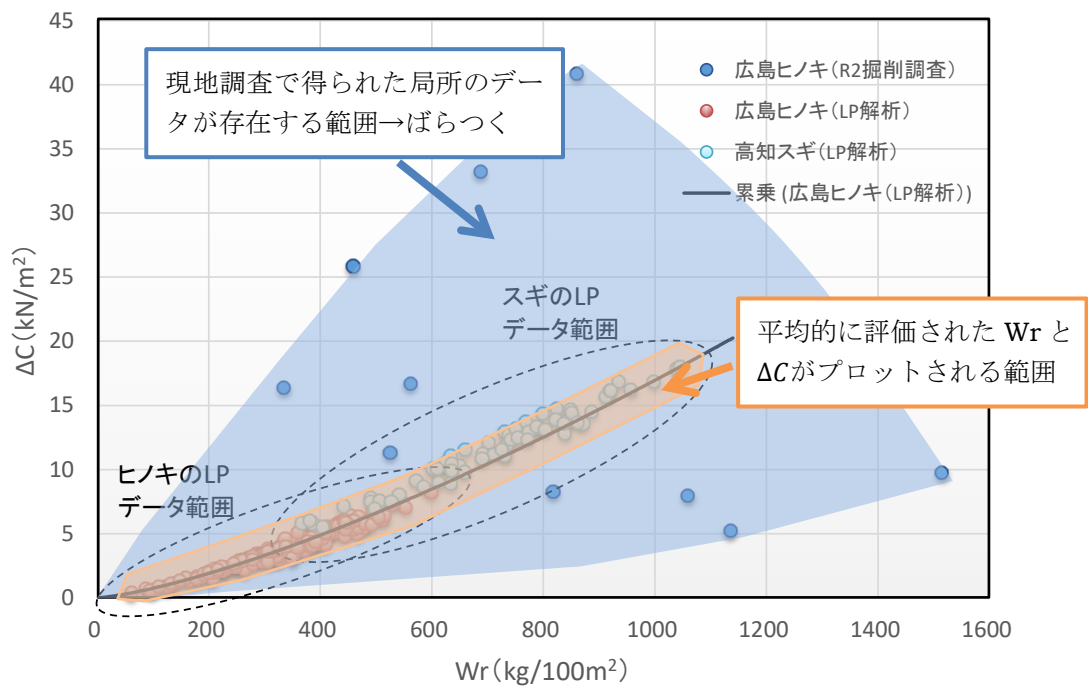


図 5.16 現地調査による $\Delta C \sim W_r$ 散布図のばらつく範囲 (図 5.11 にハッチングを追記)

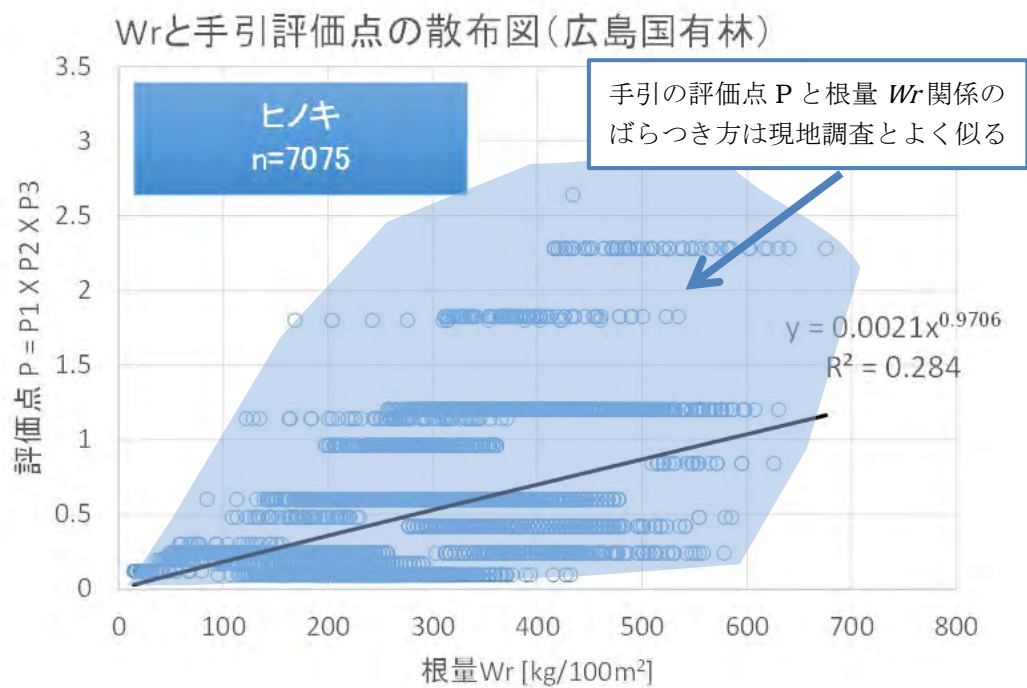


図 5.17 手引評価点 $P \sim W_r$ 散布図のばらつく範囲 (図 5.14 ヒノキに加筆)

5.2.5 P、 ΔC 、 Wr の使い分け

5.2.4 でみたように、3つの指標、手引の評価点 P 、 $\Delta C(\Sigma A)$ 、根量 Wr を比較すると、 $\Delta C(\Sigma A)$ と Wr はほぼ同一の指標とみなせる一方で、手引の P は他の2つの指標とだいぶ異なる傾向となった。

手引の評価点 P の根拠文献は北原の ΔC に関する研究だが、胸高直径の取り扱いにおいて、 $\Delta C(\Sigma A)$ とは異なる要因が加味され、両者は異なる性質を呈する。手引では、胸高直径が大きい場合に高評価を与え、立木密度が高い場合を低評価とする。これに対し、根量 Wr は立木密度が高ければ、単位面積あたりの樹木本数が増え、根量は増加する。ただし、高密度では小径木となり1本あたりの根量は少ない。立木密度が高いときに小径木となるトレードオフ関係を表現しているのが実質的に胸高断面積合計 ΣA であり、 $\Delta C(\Sigma A)$ と Wr がほぼ同一の指標となるのはそのためと思われる。

ここで根量 Wr が大きいグリッドであっても小径木が多い林分を考える。手引の P では高密度で小径木の多い林分は基本的に低評価であり小さい評価点 P となる。実際の林分例として、小径木、雑木が生い茂る斜面があげられる。小径木、雑木が中心の場合、その根はやはり細く、図 5.18 に示す崩壊周縁側壁での水平根による杭効果や崩壊底面での鉛直根による杭効果は期待しにくい。

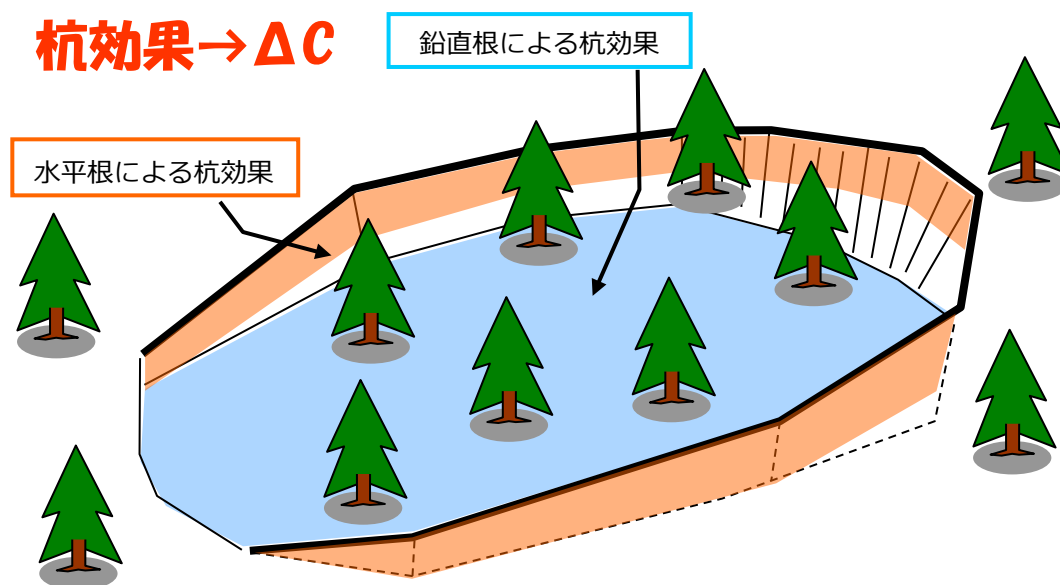
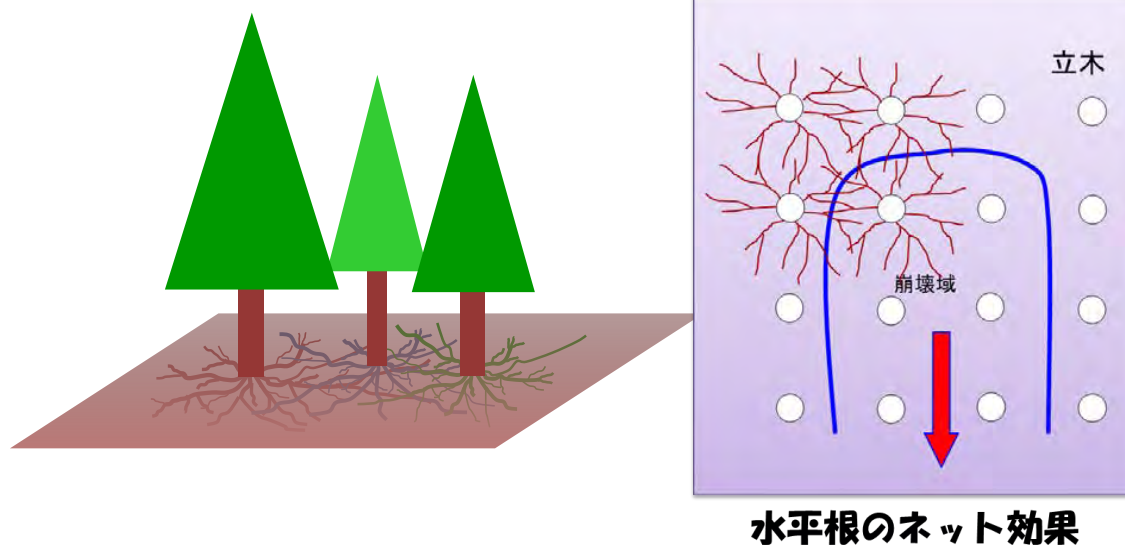


図 5.18 杭効果による崩壊防止力

ネット効果



隣接する林木の水平根は地表面近くを非常に多数が成長しているため、お互いに絡み合いネットのように作用して斜面を安定化していると考えられている。

図 5.19 ネット効果による崩壊防止力（阿部 2019³）

その一方で細い根であっても、斜面内にたくさんの細根が存在すれば、ネットのように絡み合い斜面を安定化するネット効果は発揮していると考えられる。

以上の考察より、3種類の指標（手引の P 、 $\Delta C(\Sigma A)$ 、 Wr ）は、それぞれ表 5.5 に示す根系効果に相当する、と整理することを提案する。

表 5.5 指標と対応する崩壊防止機能

指標	根系による崩壊防止機能	必要とする森林
手引の P	杭効果	急斜面、やや規模の大きな崩壊
Wr または $\Delta C(\Sigma A)$	ネット効果	緩斜面、侵食が生じやすい斜面

杭効果とネット効果はどちらも森林根系が発揮する崩壊防止機能である。しかしながら、これまでの崩壊防止機能の議論において、両者を明確に区分し評価しているケースはあまりなく、どちらの機能を優先させるべきか、どのような森林に適用するか、といった観点の整理がなされていない。今後の課題とする。

³ 阿部和時（2019）：豪雨災害でみられる森林が持つ表層崩壊防止機能とそのメカニズムに関する研究動向,GT フレーム工法技術講習会発表資料