

Caspar Creek

Robert R. Ziemer (Pacific Southwest Research Station, USDA Forest Service, United States, rziemer@fs.fed.us)

Overview

The USDA Forest Service Pacific Southwest Research Station and the California Department of Forestry and Fire Protection have gauged streamflow, and suspended sediment and precipitation continuously since 1962 in the 473 ha North Fork and the 424 ha South Fork of the 2167 ha Caspar Creek in the Jackson Demonstration State Forest in northwestern California (Figure 1). Within the two Caspar Creek Experimental Watersheds there are presently 26 gauged subcatchments (Figure 2).

The Experimental Watersheds generally have a southwest orientation and are located about 7 km from the Pacific Ocean. Topographic development of the area is youthful, with uplifted marine terraces deeply incised by antecedent drainages. The hillslopes are steepest near the stream channel with inner-gorge slope gradients of 50% or more. A slope change typically occurs 100 m to 350 m upslope, becoming more gentle near the broad and rounded ridgetops. About 35% of the slopes are less than 17 degrees and 7% are steeper than 35 degrees. The elevation ranges from 37 to 320 m.

The soils of the basins are well-drained clay-loams, 1 to 2 m in depth, and are derived from Franciscan graywacke sandstone and weathered, coarse-grained shale of Cretaceous Age. They have high hydraulic conductivities and subsurface stormflow is rapid, producing saturated areas of only limited extent and duration.

A Mediterranean climate is typical of low-elevation catchments on the central North American Pacific coast. Temperatures are mild with muted annual extremes and narrow diurnal fluctuations due to the moderating effect of the Pacific Ocean. Coastal fog typically can extend 16 km or more inland during the summer, often retreating to the coast by midday. Average monthly air temperature in December is 6.7 °C and in July is 15.6 °C. The frost-free season ranges from 290 to 365 days. Mean annual precipitation is 1190 mm, with a range from 305 to 2,007 mm. Ninety percent of the total annual precipitation falls

between October and April. Snowfall is rare.

The catchments were extensively clearcut and burned in the late 1800s. Vegetation is now predominantly second-growth stands of coast redwood (*Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl.) and Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) averaging 700 m³ ha⁻¹ of stem wood. The principal objective of the 40 years of research in these catchments is to evaluate the impacts and recovery from road construction and selection and clearcut harvesting by tractor and cable on streamflow, suspended sediment, and bedload.

アメリカ合衆国農業省森林局太平洋南西研究ステーション (USDA Forest Service Pacific Southwest Research Station) およびカリフォルニア州林業および山火事対策省 (California Department of Forestry and Fire Protection) は、カリフォルニア州北西のJackson Demonstration 州有林にあるCaspar Creekにおける、流域面積が473haのNorth Forkと流域面積が424haのSouth Forkにおいて、1962年から、流水と浮遊砂を計測している (図1)。North ForkとSouth Forkの実験流域 (North Fork and South Fork Caspar Creek Experimental Watersheds)は、流域面積が2167haのCaspar Creekの源流部に位置する。現在この2つの実験流域内には、26の計測対象小流域がある (図2)。

実験流域は、概して南西方向からおこり、太平洋から約7kmの位置にある。一帯の地形は若年期の様相であり、隆起した河岸段丘が、隆起以前から存在した川により、深く下刻されている。斜面については、河川流路そばのゴージ内部の斜面がもっとも急であり、勾配は50%か、それ以上ある。斜面勾配は、一般に100mから350m上方で変化し、幅が広く丸みをおびた尾根の周辺でより緩やかになる。斜面の約35%が17度以下であり、7%が35度以上である。標高の範囲は、37mから320mである。

流域の土壌は、水はけのよい埴壤土であり、深さは1mから2mある。これはFranciscanグレーワッケ砂岩と、風化がすすんだ、粒径の粗い白亜紀頁岩に由来する。土

壤は高い水理伝導性を持ち、地下水流の流れは速く、飽和状態は長くつづかない。

北アメリカ太平洋岸の中部の、標高の低い流域では、地中海性気候が一般的である。気温は温暖で、太平洋による緩和効果のために、年間の極値がおさえられ、1日あたりの変動幅も狭い。海岸に発生する霧は、夏の間、一般に16kmかそれ以上内陸部まで広がるが、多くの場合、正午までにふたたび海岸に後退する。一ヶ月の平均気温は、12月で6.7度、7月で15.6度である。霜が発生しない期間は、1年のうちで290から365日ある。平均年降水量は、1190mmで、305mmから2007mmまでの範囲をとる。年間降水量のうち、90%が10月から4月の間の降雨による。降雪があることはまれである。

流域では、1800年代末に、広範囲にわたって伐採および野焼きがおこなわれた。現在の植生は、おもにアカスギ (coast redwood, *Sequoia sempervirens*) とダグラスファー (Douglas-fir, *Pseudotsuga menziesii*) の2次林であり、700m³ ha⁻¹の材積がある。

実験流域における40年にわたる研究は、道路建設およびトラクター集材やケーブル集材をとまなう択伐または皆伐が、川の流水、浮遊砂および掃流砂にあたえる影響について明らかにすることを目的におこなわれている。

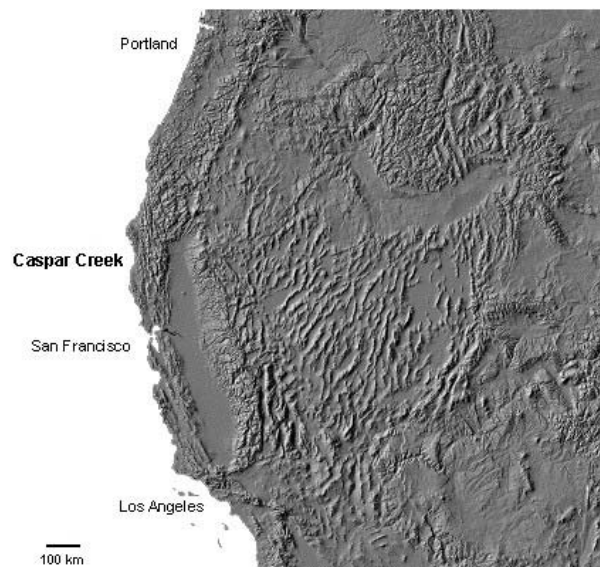


Figure 1: Location of Caspar Creek on the west coast of the United States (modified from shaded relief map, U.S. Geological Survey).

図1：アメリカ合衆国西海岸のCaspar Creekの位置

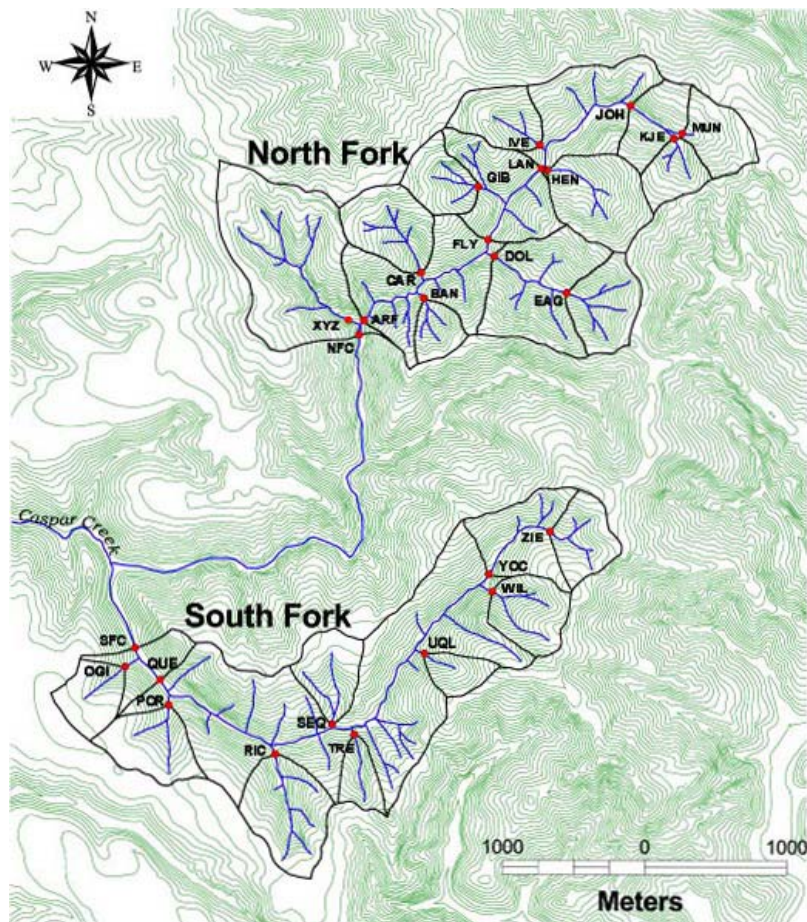


Figure 2: Location of stream gauges on the North and South forks of Caspar Creek. Contour interval is 10 m.

図2：Caspar CreekのNorth ForkおよびSouth Forkにおける、河川計測地点。等高線の間隔は10m。

Table of catchment features

Caspar Creek	
Country	United States
Location	39°21'N, 123°44'W
Geology	Coastal Belt of the Franciscan Complex. Well-consolidated marine sedimentary sandstone with intergranular clay and silt (greywacke) and feldspathic sandstone, with lesser amounts of siltstone, mudstone, and conglomerate.
Catchment size	900 ha (26 gauged catchments ranging from 10 ha to 473 ha)
Channel length	4000 m (mainstem)
Average channel slope	1/50
Average runoff	0.092 m ³ sec ⁻¹
Average annual rainfall	1190 mm, 90% of which falls between October and April
Vegetation	Coast redwood (<i>Sequoia sempervirens</i> (D. Don) Endl.), and Douglas-fir (<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco)
Historical records of natural disasters	<p>Holocene landslides greater than 1,000,000 m³ dammed the creek resulting in extensive deposits of alluvium. These ancient landslides are more than three orders of magnitude greater than the largest contemporary landslide within the catchments.</p> <p>1860-1904 all timber cut and logs transported by periodic artificial floods produced by breaching of dams constructed in steep narrow reaches of headwater channels.</p> <p>Mean annual sediment yield since 1962 is about 2000 kg ha⁻¹yr⁻¹.</p> <p>Numerous landslides followed logging and road construction in the 1970s due to inadequate design and construction. In contrast, the size and number of landslides following logging designed in the 1990s was similar to that in unlogged areas.</p>



Figure 3: From 1971 to 1975, 50% stem volume of the 90-year-old second-growth redwood and Douglas-fir forest was selectively cut and tractor-yarded to roads near the stream. This practice was compliant with forest practice rules in use in California in the early 1970s.

図3：1971年から1975年にかけて、90年生のアカスギとダグラスファーの2次林の材積の50%が択伐され、流路近くの道にトラクターで牽引、集材された。この施業は、1970年代初頭のカリフォルニア州の森林施業法に従っていた。



Figure 4: From 1989 to 1991, 50% of the 100-year-old second-growth redwood and Douglas-fir forest was clearcut and the trees were cable-yarded to roads near the ridge. Buffer strips left along perennial streams were selectively logged. This practice was compliant with forest practice rules in use in California in the early 1990s.



Figure 5: Upland intermittent stream channels are an important source of sediment. Woody debris and roots are the primary control of channel erosion. The plastic pipe was used to temporarily divert streamflow during construction of the stream gauge.

図5：上流の断続的に流水がある沢は、土砂の重要なソースとなっている。主に、流木デブリや木の根が流路の侵食を制限している。計測点の建設の際に、流水を分流させるために、プラスチック製のパイプが一時的に用いられた。



Figure 6: When intermittent channels are logged and burned, woody debris is consumed, resulting in accelerated channel erosion.

図6：断続的に流水のある沢において森林の伐採および土地が焼かれる時、流木デブリもなくなり、流路侵食がすすむ。



Figure 7: Improper road drainage and failure of saturated road fills delivers sediment directly to stream channels.

図7：不適切な道路の排水や、飽和した道路の崩壊によって、土砂が直接河川水路に運ばれる。



Figure 8: Over 80% of the annual sediment load at Caspar Creek is transported during stream discharges that occur about 1% of the time.

図8：Caspar Creekの年間流送土砂量の80%以上が、1%の時間しか占めない流量の流水によって運搬される。



Figure 9: About 5% of the annual sediment load at Caspar Creek is bedload.

図9：年間流送土砂量の約5%が、掃流砂である。



Figure 10: Research at Caspar Creek is designed to understand interactions of hydrologic processes and routing in logged and unlogged catchments, from rainfall inputs to streamflow and sediment outputs. Ladders provide access to an extensive network of tensiometers and piezometers used to evaluate subsurface flow on a hillslope from the ridge to the channel.

図10：Caspar Creekにおける研究は、雨による入力から流水と土砂による出力まで、水文プロセスと、伐採のあったまたは伐採のない流域における土砂の移動プロセスとの間の相互作用を理解するために計画されている。尾根から河川流路までの地中水の流れを把握するために、広範囲にわたって取り付けられたテンシオメーターとピエゾメーターのネットワークにアクセスするため、梯子が設置された。

Research attainments

Research at Caspar Creek has resulted in improved understanding of the effects of forest harvesting on hydrologic processes in rain-dominated catchments having conifer forests in the western United States.

Caspar Creekでおこなわれた研究により、アメリカ合衆国西部の降雨量が多く針葉樹林の生育している流域における、森林の伐採が水文プロセスに与える影響についての理解が深まった。

* Increases in peak flows from clearcutting are related to the proportion of the area logged, catchment wetness, time after logging, and storm size. Proportional increases in peak flows resulting from both selective

and clearcut logging are greatest for smaller runoff events (Figure 11). Increased peak flows become progressively smaller as the catchment becomes increasingly wetter. Increased peaks after logging returned to the prelogging condition within about 12 years.

* 伐採によるピーク流量の増加は、伐採があった面積の割合、流域の湿潤状態、伐採からの経過時間、雨の強さ、と関係することがわかった。択伐および皆伐の結果おこったピーク流量の増加の割合は、より小さい洪水イベントで一番大きい（図11）。流域の湿潤状態が高まるほど、ピーク流量の増加は少なくなる。伐採後に増加したピーク流量は、約12年以内に、伐採前の状態にもどる。

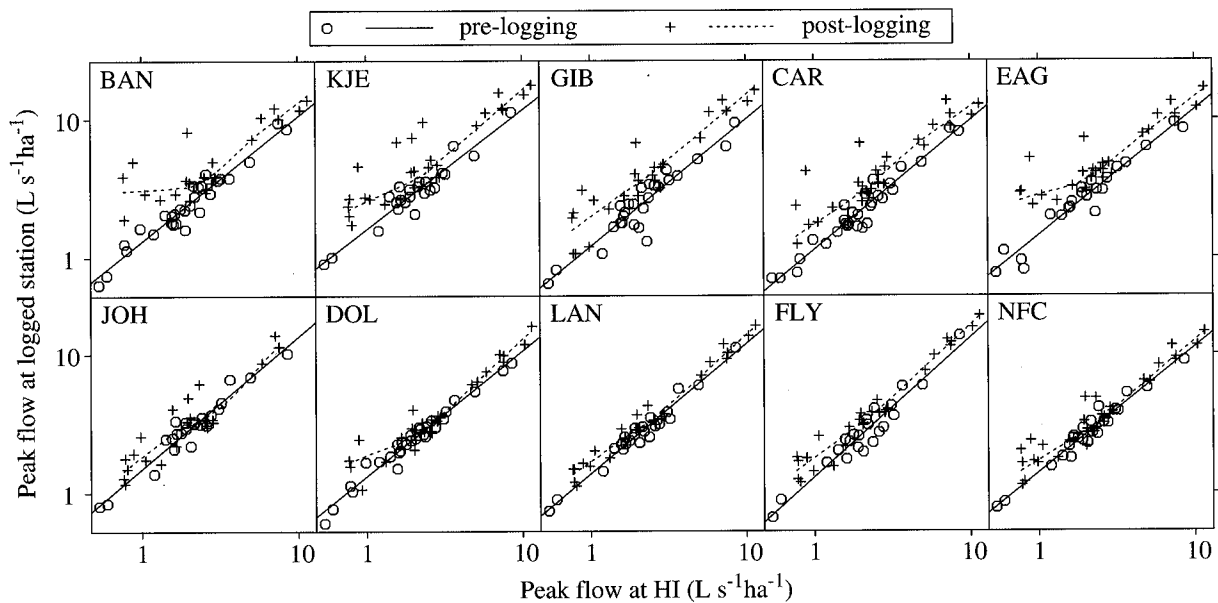


Figure 11: Response of peak streamflow to logging in the 10 treated subcatchments in the North Fork Caspar Creek (Figure 2) using the mean of untreated subcatchments HEN and IVE (HI) as a control. Post-logging regressions were fitted by locally weighted regression. (from Ziemer 1998)

図11：North Fork Caspar Creek（図2）の、施業がおこなわれた10小流域における、伐採にたいするピーク流量の反応。コントロールとして、施業がおこなわれたことのない小流域、HENとIVE（HI）の平均値をもちいる。伐採後の回帰線については、一部重みづけられた回帰によって調節された（Zimmer, 1998から）。

* When forests were selectively cut and tractor-yarded to roads near the stream, following forest practice rules in use in California in the early 1970s, total suspended sediment loads for the 7-year period after logging increased by 212% above that predicted for the undisturbed condition (Figure 12). In contrast, when forests were clearcut and cable-yarded to roads near the ridges, following forest practice rules in use in California in the early 1990s, total suspended sediment loads for the 7-year period after logging was 89% higher than that predicted for the undisturbed condition.

* 1970年代初頭のカリフォルニア州の森林施業法にしたがい、森林の択伐がおこなわれ、河川水路近くの道までトラクターによる集材がおこなわれた時、伐採後7年間の総浮遊砂量は、攪乱がなかった場合に推定される量より212%増加した（図12）。対照的に、1990年代初頭のカリフォルニア州の森林施業法にしたがい、森林の皆伐がおこなわれ、尾根近くの道までケーブル集材がおこなわれたとき、伐採後7年間の総浮遊砂量は、攪乱がなかった場合に推定される量より89%の増加であった。

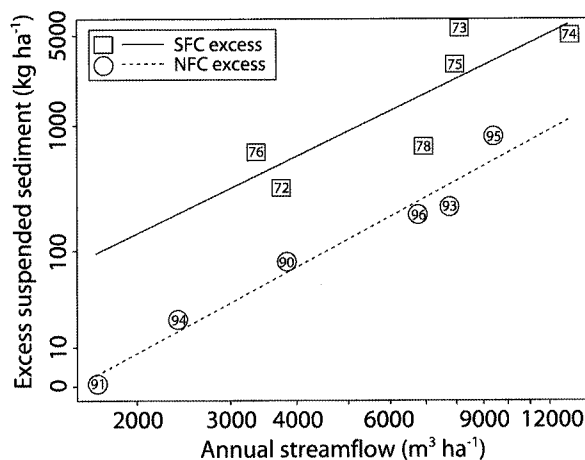


Figure 12: The relation between annual excess suspended sediment load and annual streamflow, comparing the first seven years after selective logging and tractor yarding in the South Fork (1972-1978) with clearcut logging and cable yarding in the North Fork (1990-1996). Excess sediment is the departure from the pre-logging regression. (from Lewis 1998)

図12：年間超過浮遊砂量と、年間流量との関係。South Forkにおける、トラクター集材がおこなわれた択伐後の最初の7年間（1972-1978）と、North Forkにおける、ケーブル集材がおこなわれた皆伐後の最初の7年間（1990-1996）との比較。超過土砂は、伐採前の回帰線からの差をさす（Lewis, 1998から）。

* For the individual subcatchments, the median increase in storm sediment load was 107% in clearcuts and 64% in partly clearcut catchments (Figure 13). The median annual sediment load increase was 109% (58 kg ha⁻¹yr⁻¹) from clearcut catchments and 73% (46 kg ha⁻¹yr⁻¹) from partly clearcut catchments. The most important explanatory variable was the increased volume of streamflow during storms. The increased flows, accompanied by soil disruption and intense burning, accelerated erosion of unbuffered stream banks and channel headward expansion.

* 実験流域内の個々の小流域においては、大雨の際の流送土砂量の増加率は、中間値として、全体が皆伐された流域において107%、一部が皆伐された流域において64%であった（図13）。年間流送土砂量の増加率は、中間値として、全体が皆伐された流域において109%（58kg ha⁻¹yr⁻¹）、一部が皆伐された流域において64%（46kg ha⁻¹yr⁻¹）であった。この現象を説明するためのもっとも重要な変数は、大雨の際の増加流量であった。土壌の崩壊や、激しい野焼きにともなう流量の増加は、無抵抗の河岸の侵食を促し、流路頭部を拡張させた。

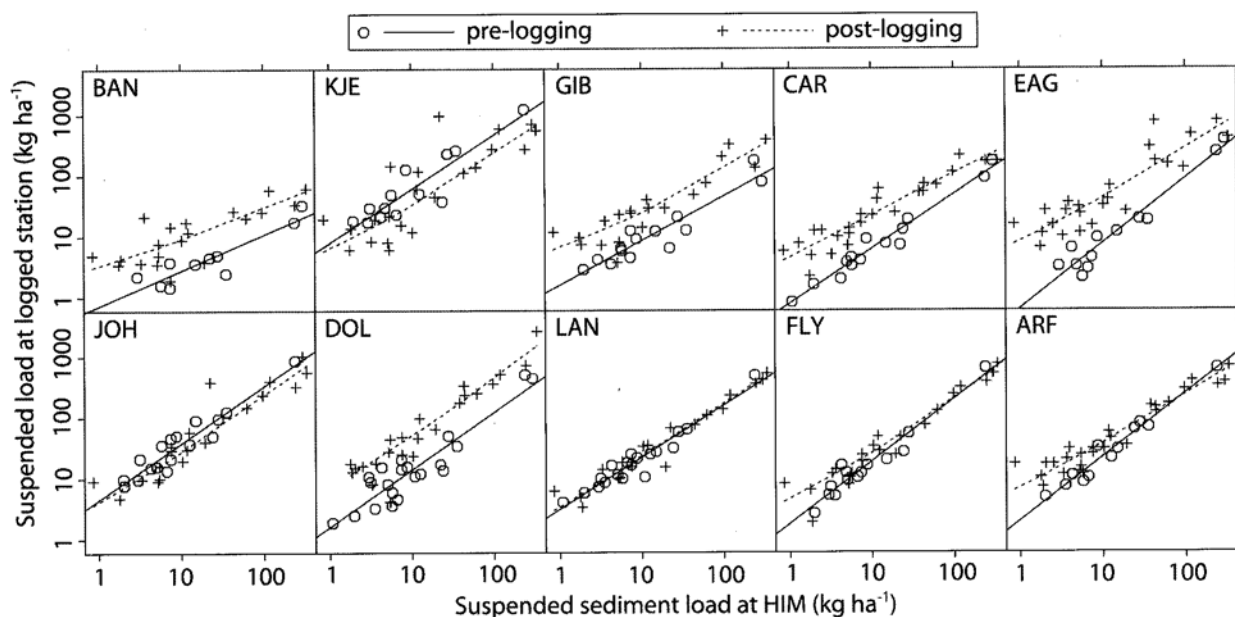


Figure 13: Response of storm suspended sediment loads to logging in the 10 treated subcatchments in the North Fork Caspar Creek (Figure 2) using the mean of untreated subcatchments HEN, IVE, and MUN (HIM) as a control. Post-logging regressions were fitted by locally weighted regression. (from Lewis 1998)

図13：North Fork Caspar Creek（図2）における、施業がおこなわれた10小流域における、伐採にたいする大雨時の浮遊砂量の反応。コントロールとして、施業がおこなわれたことのない小流域、HEN, IVE, MUN（HIM）の平均値をもちいる。伐採後の回帰線については、一部重みがつけられた回帰によって調節された（Lewis, 1998から）。

References

- Keppeler E.T. and Ziemer R.R. 1990 Logging effects on streamflow: water yields and summer low flows at Caspar Creek in northwestern California. *Water Resources Research*, 26(7), 1669-1679.
(<http://www.rsl.psw.fs.fed.us/projects/water/Ziemer90a.PDF>)
- Keppeler E.T., Ziemer R.R. and Cafferata P.H. 1994 Changes in soil moisture and pore pressure after harvesting a forested hillslope in northern California. *Proc. Effects of Human-Induced Changes on Hydrologic Systems, American Water Resources Association*, Bethesda, Maryland, 205-214.
(<http://www.rsl.psw.fs.fed.us/projects/water/Ziemer94a.PDF>)
- Lewis J. 1998 Evaluating the impacts of logging activities on erosion and sediment transport in the Caspar Creek watersheds. In: Ziemer R.R. *Proceedings of the conference on coastal watersheds: the Caspar Creek story*, General Tech. Rep. PSW GTR-168, Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, 149 p.
(http://www.psw.fs.fed.us/Tech_Pub/Documents/gtr-168/07lewis.pdf)
- Lewis J., Mori S.R., Keppeler E.T. and Ziemer R.R. 2001 Impacts of logging on storm peak flows, flow volumes and suspended sediment loads in Caspar Creek, California. *Land Use and Watersheds: Human Influence on Hydrology and Geomorphology in Urban and Forest Areas, Water Science and Application Volume 2*, American Geophysical Union, Washington, DC, 85-125.
(<http://www.rsl.psw.fs.fed.us/projects/water/CWEweb.pdf>)
- Wright K.A., Sendek K.H., Rice R.M. and Thomas R.B. 1990 Logging effects on streamflow: storm runoff at Caspar Creek in northwestern California. *Water Resources Research*, 26(7), 1657-1667.
(http://www.rsl.psw.fs.fed.us/projects/water/Wright90WR26_7.pdf)
- Ziemer R.R. 1992 Effect of logging on subsurface pipeflow and erosion: coastal northern California, USA. Erosion, debris flows and environment in mountain regions, *Proc. of the Chendu symposium, International Association of Hydrological Sciences Publication No. 209*, Wallingford, UK, 187-197.
(<http://www.rsl.psw.fs.fed.us/projects/water/Ziemer92.PDF>)
- Ziemer R.R. 1998 Proceedings of the conference on coastal watersheds: the Caspar Creek story. General Tech. Rep. PSW GTR-168, Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, 149 p.
(http://www.psw.fs.fed.us/Tech_Pub/Documents/gtr-168/gtr168-toc.html)

NOTE: 138 papers related to research at Caspar Creek are available on the Internet at:

ノート：Caspar Creekでの研究成果は、138本の論文として発表されており、インターネットで閲覧可能である。ウェブサイトのアドレスは、
<http://www.rsl.psw.fs.fed.us/projects/water/caspubs.html>