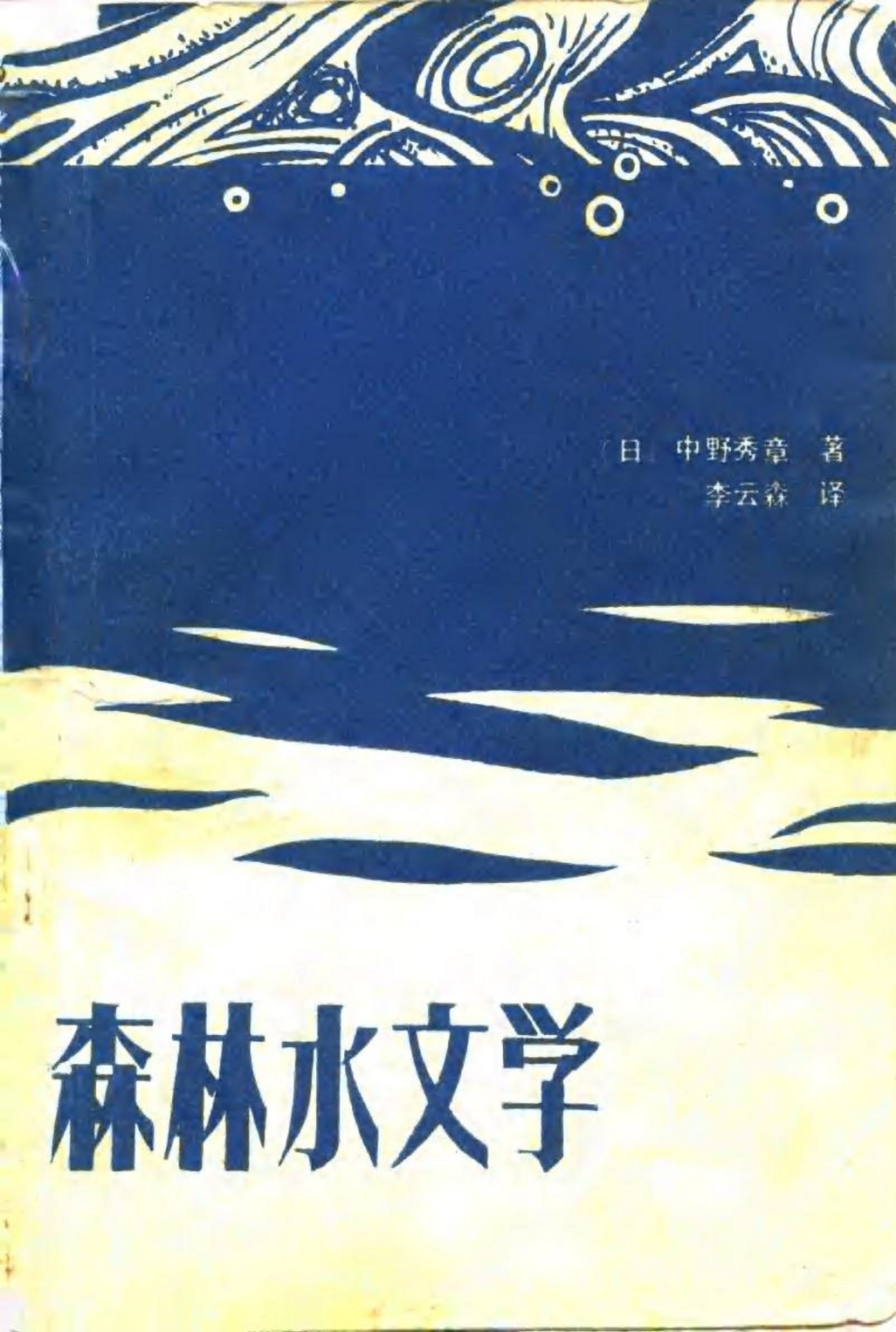




〔日〕中野秀章 著
李云森 译

森林水文学

森林水文学

〔日〕中野秀章 著
李云森 译

中国林业出版社

编辑委员

东京教育大学教授·理学博士

山 本 庄 毅

日本大学教授·农学博士

金 子 良

国立防灾科学技术中心所长·理学博士

菅 原 正 巳

东京大学教授·工学博士

高 桥 裕

东京教育大学助教授·理学博士

榎 根 勇

森 林 水 文 学

(日) 中野秀章 著 李云森 译

中国林业出版社出版 (北京朝内大街 130 号)

新华书店北京发行所发行 河北昌黎县印刷厂印刷

850×1168 毫米 32 开本 7.5 印张 180 千字

1983 年 5 月第 1 版 1983 年 5 月昌黎第 1 次印刷

印数 1—6,000 册

统一书号 16046·1108 定价 0.96 元

原书序言

日本的山地几乎为森林所覆盖，因此降落在水源地带的降水都或多或少地受到森林的影响流入河道。稳定而丰富的河水可为社会造福，而洪水激流却可给人类带来灾害。阐明森林对于河流的影响是自古以来人类的强烈愿望，因此森林水文研究的历史非常悠久。

但是，由于自然现象太复杂，要弄清森林在山地流域水文过程中所起的作用，有不少极为困难的问题。一方面，由于其中包含着许多生物现象，因而要使其单纯化而进行数字分析，自然具有一定的局限性，况且有关森林变化的试验观测，当然需要进行相当长的时间；另一方面，从世界范围来看，研究体制还不够完善。因此，有关森林水文的知识还远远不能满足需要。

但是，经过前人和有关研究者多年的努力，研究成果逐渐增多，把美国和其它国家的试验研究成果综合起来，可以认为取得了一定的成就，也是事实。

近年来，社会对于利用森林公益效能的要求愈来愈强烈，特别是人们对于森林的保水作用十分关注，但是在日本有关森林水文的科技读物很少，特别是系统地介绍有关研究方法的书籍可以说还没有。这里借此机会，不仅对森林的保水作用予以介绍，而且还要论述降水在

林地上变成流水的过程中，水和森林相联系而表现出的各种现象以及其观测方法，同时对于森林和林地亦加以必要的说明，试图根据现有资料，尽可能系统而又简明写成此书。但对于欧美国家作为森林水文学重要部分的山地荒废现象、泥沙流失与森林的关系等内容，从日本在这方面研究水平的实际情况考虑，本书不予涉及。此外，对于目前正在研究中的作为增强森林的保水效果的治水工程等内容，由于这方面的研究成果尚不成熟，也不作介绍，还有雪与森林的关系等内容，由于同样理由在本书中也未加论述。

本人学识浅薄，加之公务繁忙，书中错误之处在所难免，请予批评指正。只要本书对于今后森林水文研究能够起到哪怕是微小的作用，也是著者莫大的幸事。

森林水文研究常常需要在艰苦的深山老林中进行长年累月的观测，要做到这一点也并非易事。本书记述的全部内容是好些人的劳动成果，对于他们的辛勤劳动，在此深表敬意和谢意。

中野秀章

1976年5月

目 录

1. 日本森林水文研究的经过	1
1. 森林理水效果认识的萌芽	2
2. 森林水文研究的开始	3
3. 近年来森林水文研究的开展情况	7
2. 森林流域与降水的动态	18
1. 降水动态的概观	18
2. 与降水动态有关的流域条件	19
3. 降水截留与增雨	58
1. 树冠截留	58
2. 下层植被的截留	72
3. 林地枯枝落叶层的截留	75
4. 林分的截留降水量	76
5. 增雨作用	77
4. 下渗与渗透	79
1. 下渗	79
2. 森林与下渗	89
3. 渗透	94
5. 蒸发散	102
1. 林木的蒸腾	102
2. 林地地面蒸发	109
3. 林地的蒸发散	110
6. 土壤水分	131
1. 土壤水分	131

2. 森林与土壤水分	140
7. 径流	148
1. 山地流域的径流	148
2. 森林理水试验	172
3. 采伐与径流	175
4. 造林与径流	200
5. 林相与径流	202
8. 水量平衡	207
1. 林分的水量平衡	207
2. 森林流域的水量平衡	212
9. 溪流水质	216
1. 森林与溪流水质	216
2. 采伐与水质	218
3. 除草剂撒布与水质	220
4. 林地施肥与水质	221
10. 理水与森林	222
1. 森林的理水效果	222
2. 以减缓洪水为目的的森林	226
3. 以涵养水源为目的的森林	231

1

日本森林水文研究的经过

要开展今后的森林水文研究，就需要了解过去的发展过程。

在本章中，首先要介绍日本人民在早期即已认识到森林在防治水旱灾害方面的重要作用，到了德川时代（1603—1867），已在前人实践观察的基础上明确提出了通过森林减缓洪水、涵养水源的主张。

其次，介绍明治时代（1868—1911）的情况，聘请国外学者、专家到日本工作，派人出国考察，从而引进西欧的治山治水技术和研究方法，并与本国的传统经验相结合，发展森林治山事业，以及在流域试验和个别水文现象研究两个方面所开展的工作，成为日本近代森林水文研究的开端。

再其次，介绍从大正年代到昭和初期（1926—1934）对个别森林水文现象的调查研究，以及从昭和10年（1935）到近年在各个不同时期通过流域试验，有重点地开展了综合性的森林理水效果的研究。

最后，介绍近年来已逐渐查明了的森林理水效果研究的经过，把森林理水效果与个别功能联系起来进行的水量平衡研究，和成为水量平衡研究中起关键作用的渗透与蒸发两种现象的基础研究，以及在现有认识的基础上，开始进

行应有的理水效果最佳林种和林况的研究。此外附带说明，从环境保护的需要出发正在开展新的水源涵养地区森林保护以及森林与河水水质之间的关系的研究。

1. 森林理水效果认识的萌芽

根据考古学的研究，早在日本弥生文化时代的后期（公元100—300年），农民已避开洪水而定居，开辟水田而耕植。根据确切记载，日本最早的治水工程始于公元323年，修建于淀川。

弥生文化时代以后，各地修建寺庙，开辟道路，开展制盐、制铁等生产活动，采伐森林以获取木材及燃料，采集树叶、杂草作为肥料等等，其结果出现了荒山荒地，带来水土流失，洪水泛滥，威胁着人们生活，于是为了减轻洪水灾害，开始在河岸筑堤，栽植树木（700—1650年）。

再以后，逐渐产生了治水必治山的思想。由于暴雨时大量泥砂流失，使河床升高，不仅妨碍船运，而且造成洪水泛滥，毁坏房屋和农田，人们从实践中认识到，造成这种灾害的根本原因在于水源山地的植被荒废。

这种见解主要是由当时日本冈山藩的熊泽蕃山提出来的，在他的著作集义外书中有下列记述：

“树草繁茂的山地，可以含蓄水分，使大雨时的降水经过长时间延缓之后才流入河川，从而减轻洪水之害，减少泥砂流失”。“如果山地的树草繁茂，能有大量的水蒸气蒸腾，即使在枯水季节，也可增加雨量，使河水丰盈”。但“在有松林的山地，即使树木茂盛，而林下杂草不旺，水蒸气蒸散量也不多，水源容易干涸。相反，如果山上栽植柳杉、扁柏或阔叶杂树，水蒸气蒸腾旺盛，常常发生骤雨，即使在枯水季节，流量也较丰足，可确保农田用水和船运畅通”。“与其疏浚河床的沉砂或改变河道，不如在荒废的水源山地造林，每逢降雨时河流流量增加，河床上的泥砂将自然

而然地被排到海里”。“由于森林具有多方面的公益效能，最好不应该归私有”等等。

由此可见，早在 300 年前，蕃山就认识到森林对水害防治和水源涵养的功能，并知道如何发挥森林的效能，这可以说是提出了河道水理甚至防砂法或森林法的主张。尽管对于现象的解释或得出结论的根据还有不够合理的地方，但是他的观察分析能力和卓越的见解是值得赞赏的。在 1655 年前后，他还主持冈山地区的荒山治理工程，并制定了造林规划。

到 1680 年代，河村瑞轩在京都附近主持荒山和溪流的固砂工程，但他只考虑了工程的洪水减缓和固砂保土作用，而没有认识到工程的水源涵养效能。

蕃山的观点也为其它地区所采纳，全国各地划定禁伐林或禁止挖掘伐根，在荒废山地植树造林，并以简易的土方工程作为辅助工程。把防治洪水和防止泥砂流失作为主要目的的森林，分别称为防洪林、保水林、水源涵养林、固砂林等，而且一般都列为禁伐林。

但是，上述对于森林功能的认识，只是少数先进学者根据观察而得出的推论，并不是通过实验观测而证实的研究成果。

2. 森林水文研究的开始

在明治时代（1868—1911），日本在政治、社会、文化各个方面受到西欧文化的影响，迅速引进国外技术，在治山、治水方面也不例外，1872 年开始雇佣荷兰工程师多恩到日本指导工作，以后陆续有荷兰治水专家到日本，其中的代表人物是载列克，他在日本住了 30 年，一开始就提出治水必先治山的主张，去各地考察治水方法，致力于固砂工程的修建，在他的思想中非常重视森林的水源涵养功能，于 1891 年，他向日本政府提出了《紧急施行水源涵养法的建议》。他还认为，森林的水源涵养功能，与其在于树木

本身的直接作用，不如说主要是通过枯枝落叶层和腐殖质层能保蓄丰足水分，致使雨水缓慢地流出。这种认识与蕃山的森林枝叶群的笼统提法不同。主要根据他的这个见解，后来形成了森林的“海绵作用”的观点，而且成为森林可以调节径流的理论依据，雨水的径流受到森林的调节，而不致于引起浸蚀和泥砂流失，从而印证了森林具有固砂保土的功能。载列克的见解可以说是从过去的直观概念进一步发展为具体的理论，成为后来森林水文研究的萌芽。

与此同时，在国外专家的指导下，日本学习和应用国外的固砂治水经验，在国内也开始出现一批先进的专业人才，例如市川义方、宇野园三郎、金原明善等，他们的见解与载列克或蕃山相似，都一致地肯定了森林的水源涵养功能，并在实践中加以运用。市川提出了独特的固砂工程的设想，其内容是，把草木根系所形成的腐殖质壤土厚厚地堆积在荒山坡地上，雨水将从腐殖质层渗入，使满山的土层保持湿润，水分被贮蓄在荒山的山体内，避免了洪水的骤然涌流，而缓缓地流入河川，从而保持河水长流，不致干涸；同时在荒山流域的低洼地修筑丁字坝，在坝上堆积砂砾，使山地浸透水分而经常保持湿润，从而促进草木繁殖，形成森林，进而取得呼云唤雨、滋润田野、为民增益的效果。市川对于森林效果的看法，虽然有些过于自信，但他的固砂工程的设想，是以森林径流调节作用为依据的，此外，他还提出了相当于现代的理水工程中采用的下渗池法的滤水池方案，即将河床或洼地的底部深淘，填以砂砾，在砂砾堆的周围三面用粘土筑成土堤，作成人工砂砾床的蓄水池，使山上流下的无效雨水，湿润周围山地，从而使少雨地区原来不毛之地变成可耕种的田地。这种设想虽然还不太切合实际，但它着眼于雨水的下渗，并通过固砂工程来达到防洪固砂的目的，这和现代的想法也是很接近的。

当时的宇野也赞同蕃山的水蒸气蒸腾学说，承认森林的水源涵

养功能，并主张禁止乱伐森林，1882 年向冈山县令提出《治水建议书》，并从事荒山造林的实践。金原也相信森林的水源涵养功能，并致力于造林实践和宣传森林治水的思想，于 1890 年创立治水协会，创办治水杂志。

从十九世纪末期到二十世纪初期，许多日本人到西欧考察或留学，学习了治山治水的先进思想和技术。参考国外的经验，于 1896 年制定《河川法》，1897 年制定《森林法》、《固砂法》，并逐步开展河道治理、固砂保土、荒废林地更新等事业，也就是今日的治山事业。随着赴西欧留学的林学家、林业技术人员的增多，西欧的固砂技术与有关森林功效的理论也随之引进，于 1899 年在东京帝国大学举办了森林理水与固砂工程学讲座。

这时才开始用“森林理水”一词，当时的“理水”含义主要是“治水”。而今天的“理水”具有径流调节的意思，径流调节主要是指洪水和枯水的缓和，因此“森林理水功能”应当包含森林的治水或洪水减缓功能（或效果），以及水源涵养或枯水缓和功能（或效果）两个方面。——著者注

当时的日本林业试验场场长白泽保美，于 1899 年赴瑞士考察，观察了刚刚在埃门塔尔（Emmental）开始进行的有林地和无林地的比较试验，回国后立即向日本山林局建议，在茨城、栃木两县的太田、笠间、足尾各营林区的国有林中设立 8 个流域试验地，同样开展有林地和无林地的水源涵养比较试验，这可以说是日本森林水文研究的开始。这项试验从 1906 年进行到 1912 年，其中太田流域的试验持续到 1919 年，还进行了阔叶林皆伐的河流流况变化试验，发现了由于皆伐而引起的年径流量的增加和退水曲线的变化，这在当时来说是很重要的成果。顺便说一下，森林采伐与溪流流量关系的试验，在美国开始于 1910 年，地点在科罗拉多州的瓦贡惠尔加普（Wagon Wheel Gap）。

1910 年夏季日本发生水灾，除东京府外有 15 个县遭到从未有过的大水灾，特别是在关东、东北地区，由于洪水泛滥，土壤被浸蚀和流失，损失惨重。因此，当年政府成立了临时治水调查会，

通过决议，于 1911 年开始第一期治水事业。

在这项计划的实施中，由于基础资料不足，特别是与降水量有关的山区气象资料缺乏，为了弥补这个缺陷，从 1911 年到 1920 年，设立了 39 个森林测候所（即森林气象站），由林业试验场森林气象室（后来的气象部）负责主持，进行了调查工作（表 1 略）。

在初期有 23 个森林测候所进行山地气象观测，为反映山地的气象情况提供了不少贵重的测定资料，其中如在男体山、榛名山、妙义山和白发山，通过观测获得了雨量随高度而增加的实测资料，在大台原山获得了在 24 小时内雨量达 1,013 毫米的记录等。除了一般的常规观测外，还把林内外气象特别是林内外雨量的比较测定作为观测的重点，此外还进行了树木茎流量、树冠截留量和落叶保水量的调查。这些就是在日本有组织地开展森林水文研究工作的开端。

在水灾防治方面也开展了工作，把主要河流水源山地的雨量观测数据，通报下游的有关部门，作为洪水预报的资料。而且在 1917 年，提出了根据汹涌河川的上游水位来预测下游水位的洪水量预报作业方案，同时还在筑后川、千代川、川内川、江之川、阿武隈川等水系进行洪水量预报，也取得了不少成果。这项工作一直进行到森林测候所建立后的中期，发展成为河源的径流调查机构，在根尾川、碓冰川、旭川（秋田）等进行了河流水位的测定。

在森林测候所建立后的中期，1920 年平田德太郎任气象部主任，开展了森林的治水和水源涵养功能的研究，取代了作为主要业务之一的林内气象观测，进行了林内外的地表蒸发、林地的雨水下渗和地表径流量、树冠的降雨截留、林木的蒸腾、林内外的积雪、融雪等项研究。关于这些森林个别理水功能的研究成果，至今仍然可供利用。而且还开始了小溪流的流量测定，其目的是

研究在不同森林面积率的条件下，随着幼树的生长而出现的径流量变化，以及由于融雪而引起的径流量变化。

1923年在气象部任职的玉丰三弃寿，在茨城县太田试验流域集中地进行了阔叶树皆伐对径流量影响的试验，对资料作了整理并提出了报告，这是在1914年有林地和无林地水源涵养效果比较试验的报告的同时，日本最早提出的通过流域试验进行森林水文研究的成果报告，这项成果与当时的埃门塔尔（Emmental）试验和瓦贡惠尔加普（Wagon Wheel Gap）试验成果，都是研究和经营水源涵养林的重要资料，也颇有助于后来的森林水文研究工作的开展。

总的说来，日本林业试验场气象部和森林测候所的各项工，是日本森林水文研究的良好开端，也为后来的研究指出了方向。

与此同时，从澳大利亚留学返日担任东京帝国大学森林理水与固砂工程讲座的诸户北郎教授，编著的《森林理水及固砂工程》（共5篇），于1912年出版，1924年，在爱知县实验林设置4个流域试验地，开始进行流域径流量随林相而变化的比较试验，和与这项试验有关的不同树种的林木蒸腾量的比较试验。

到1925年，已有4所大学和7所专科学校开设《森林理水与固砂工程》课程，并开展研究工作，其中的盛冈高等农林学校于1931年在明神实验林设置流域试验地，开展水量观测，这所学校在教育和研究上取得的成绩，对后来的工作具有很大的指导意义。

3. 近年来森林水文研究的开展情况

1933年在冈山地区发生特大干旱，1934年由于室户地区的台风在日本西部引起大水灾。冈山地区的干旱使农用蓄水池干涸，以及影响到流域赤松林的生存，因此在平田和山本德三郎（冈山县技师）之间，在森林的水源涵养问题上引起了一场有名的争论，这

场争论成为后面要谈到的龙之口山水源涵养试验地建立的开端，室户的台风引起水灾之后，再次使水源山地的森林荒废便成了严重的麻烦问题，为了防治水灾，提出了对利根川水源地带的森林提前开发，这可以说是后面要谈到的宝川森林治水试验的前奏。

平田与山本的争论主要分歧点在于：

平田认为：“森林可以增加水源山地的保水能力，能起到蓄水缓放的作用，这一点大概不会有异议。即是说，森林可以提高河流的最低水位，从这一事实来看，森林的功用确实是很大的。”而山本却认为：“这种情况一般多出现在大中河流，在小溪流区域，森林的保水作用未必就那样理想。由于森林的降雨截留和蒸腾的消耗量，比林冠的抑制作用所减少的林地蒸发散量大，因此径流的绝对量比降雨量要少得多。森林形成后虽然可以增加降雨量，但是除某些特殊地形的场合外，一般不会增加径流量。那种只从水的利用出发，认为只要降水量增多，绝对径流量就会增多的想法，往往是一种错觉。照过去的说法，只要山上有森林，河流流量就会增加，其实在有森林的地方出现绝对径流量减少的情况也是常见的。因为在林区绝对径流量比降雨量少得多，而且要经过较长时间才能流出，河流流量必然减少；相反，在没有森林的地方，降雨时径流的时间虽然较短，但流量较大，因此即使是小溪流也能保持一定的流量，可以使水车运转而进行磨粉等作业，或者在短期内蓄满水池，可见森林的繁茂对于这样的小河流，在水利上也不一定就很理想。事实上在林况不良的场合，在雨间中顿期尽管流量很小，几乎处于断流状态，不能转动水车，但在降雨时流量增加，却可以转动水车；而与此相反，在林况良好的场合，还不致于绝对的断流，而经常保持水流，但流量的绝对量很小，不能转动水车，蓄水池也很难蓄水。因此，尽管森林能起到蓄水缓放的作用，但在小河流域这种作用不大。森林的水源涵养效果只能在大河流域反映出来，对保持河流最低水位来说是可能的，但在

小河流域，不要说保持河流的最高水位，就是要保持较高水位也是值得考虑的。”总而言之，平田认为一般河流最理想的状况是保持稳定的流量和足够的低水流量。事实上，在大中河流即使是低水流量也大大超过可利用水量，平田对于森林的水源涵养作用的见解有它的合理性。而山本是从局部地区的观察得出的结论，姑且不说洪水流量，就连一定程度的高水流量也是很有考虑的必要。这种情况常见于山地小流域，森林在水利上的作用确实需要考虑，这种见解是以具体的事例为依据的。但是平田对于径流绝对量随着森林的形成而逐渐增加的观点却没有举出具体事例。而且山本对大中河流流域内森林的水源涵养效果作了积极的评价。

1935 年第一期治水计划结束，隔了一年于 1937 年开始了第二期森林治水计划。森林测候所撤销，但其中的 14 个所改为森林治水试验地，由气象观测转到治水试验研究，把同样的试验合并起来进行，和一般林业试验场一道，应用森林测候所时期的经验和成果，开展了以下各项森林治水试验。

(一) 山地防崩与固砂林的经营试验 (防崩林经营试验、固砂林经营试验); (二) 水源涵养林的功能促进试验 (水源涵养的基础研究、水源涵养防护林的经营试验); (三) 荒芜林地的恢复和改造试验 (固砂工程的研究、固砂造林的研究); (四) 湿地林及水害防止防护林的试验; (五) 雪崩防止的研究; (六) 河流调查 (河流水位、流量与水灾、流域气象的关系调查, 洪水通报、河流水量的长期预报)。

上述试验地经过后来的撤并、增设, 到 1945 年有森林治水试验地 7 处, 一般林业试验地 5 处 (表 2 略)。

在北海道第二期垦殖计划的执行中, 为了查明水利资源, 于 1939 年设立上川森林治水试验地, 在石狩川上游进行了森林与径流关系的试验。

在这个试验地内设置试验流域, 在现场设立试验标准地, 进行

前述的各项试验，但由于战事的影响，计划的研究项目多数中断，除了洪水通报一项投入较多的力量继续进行外，只对前述各条河流再加上米代川、球磨川、四万十川进行了雨量通报、水位通报的工作。

在战争期间，森林水文研究的重要项目通过试验流域进行水源涵养试验和森林治水试验等工作，只在少数试验地继续进行，虽配备很少的量水设施，即使在战争中也继续保持经常性的观测业务，积累了很贵重的资料。下面介绍这个时期的流域试验概况。

根据森林测候所初期的经验，森林水文研究必须进行流域试验已为世人所重视。1931—1934年间，在角馆森林测候所进行了小规模的小溪流量测定，但在第二期森林治水计划实施期间，在爱知试验林、明神试验林才正式开始进行流域试验，即以1937年在高岛试验地由大阪营林局和林业试验场协作，在龙之口山试验地的两个流域进行量水观测作为开端；为了预测奥利根天然林的开发对径流的影响，东京营林局和林业试验场协作，同年在利根川上游宝川试验地的两个流域进行了量水观测；为了查明本州东北地方的森林与径流的关系，林业试验场于1937年又在釜渊试验地的两个流域和上述的上川试验地的四个流域进行了量水观测。

上述各试验地每处至少设立两个试验流域，其中一个作为标准流域，保持森林的自然状态，其余的流域在一定期间内进行森林采伐，把采伐流域的径流量与标准流域的径流量进行对比，分析其变化，通过分析查明森林的理水效果，同时在一定程度上对森林理水功能的内容进行研究。

在上述试验中，提出了宝川、龙之口山试验流域的降水与径流关系的报告。与此有关的研究还有，不同的林龄或森林的有无对地表径流的影响，观测标准地的试验结果，也提出了报告。但总的说来，在战争时期日本的森林水文研究几乎处于停滞状态。

〈1945—1954〉